

Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní



Vzorkování surovinové moučky v cementárně
Sampling of the raw material flour in a cement
plant

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Nečas, Ph.D.

Student:

Bc. Aleš Onderka

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě.....

.....

Aleš Onderka

Adresa trvalého pobytu studenta: Sušice 28, 75111, Olomoucký kraj

Anotace diplomové práce

Onderka, A.: Vzorkování surovinové moučky v cementárně.
(vedoucí DP: Ing. Nečas J., Ph.D.), VŠB-TU Ostrava, Institut dopravy, 2009,
86 str., rozsah grafických prací 48 A4.

Diplomová práce je zaměřena na rozbor problematiky vzorkování sypkých materiálů. Jejím hlavním řešitelským cílem je návrh a konstrukční podklad ke konkrétnímu řešitelskému zadání z praxe. Prostřednictvím projekčně – výrobní firmy je zpracován návrh automatické vzorkovací stanice horké surovinové moučky v cementárně. Toto zařízení nahrazuje současný manuální odběr a vyjmutím lidské ruky z procesu tak zkvalitňuje, omezuje selhání lidského faktoru a automatizuje tento, díky vysoké teplotě nebezpečný a časově nezbytný, periodický odběr.

Annotation of the Thesis

Onderka, A.: Sampling of the raw material flour in a cement plant.
(Head of Dissertation DP: Ing. Nečas J., Ph.D.), VŠB-TU Ostrava, Institute of
Transport, 2009, 86 pages, graphs 48 A4.

This thesis focuses on analysis of the problem of sampling loose materials. The main objective of this thesis is a proposal and a constructional basis for a concrete research problem from practice. Through a projection – manufacturing company the proposal for an automatic sampling station of hot raw material flour in cement works is elaborated. This machinery substitutes the contemporary manual taking and by extracting human interference from the process it rises in quality, reduces the failure of the human factor and it automates this, due to high temperature dangerous and time necessary, periodic taking.

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení.....	8
Úvod.....	11
1. Zákazník diplomové práce.....	12
1.1. Výroba cementu v Lafarge Čížkovice	13
1.2. Cement.....	19
2. Vzorkování materiálu	20
2.1. Vzorkování ve státních normách	21
2.2. Obecné zásady konstrukce a funkce vzorkovače	22
2.3. Dělení vzorkovačů	22
2.4. Děliče.....	24
3. Vzorkovače pro sypké a zrnité materiály malé a střední zrnitosti.....	25
3.1. Příklady vzorkování při spádovém odběru materiálu.....	26
4. Kontrolní vzorkovací linky	28
5. Důvody odběru vzorku materiálu	30
6. Popis vzorkovaného materiálu.....	31
6.1. Vzorkovaný materiál za studena.....	31
6.2. Vzorkovaný materiál v ohřátém stavu.....	32
7. Konkurenční vzorkování.....	33
7.1. Polysius, konkurenční vzorkování.....	33
7.2. FLSmidth, konkurenční vzorkování	34
8. Popis řešení diplomové práce	35
8.1. Současný manuální odběr.....	36
9. Dispoziční uspořádání v místě odběru.....	37
10. Základní parametry ovlivňující konstrukční návrh.....	40
11. Možné varianty řešení.....	41
11.1. Varianty řešení, schémata	41
12. Rozbor odběru varianty A - E.....	48
13. Srovnání pomocí QFD	54
14. Výpočty.....	56
14.1. Výpočet maximální teploty stěny cyklonu	56
14.2. Výpočet kritické teploty stěny cyklonu MKP.....	57

14.3. Shrnutí výpočtu tepla stěny.....	59
14.4. Aktuální teploty odběrového zařízení.....	60
14.5. Shrnutí tepelných výpočtů	61
15. Technologické výpočty	62
15.1. Výpočet objemu odběrové nádoby	62
15.2. Hlavní části zařízení.....	63
15.3. Výpočet délky času jednoho odběru	69
16. Pevnostní výpočty	71
16.1. Výpočet čepu táhla.....	71
16.2. Výpočet spojovací části vzorkovače.....	74
16.3. Vzpěrná pevnost táhla.....	77
17. Technický popis zařízení	80
18. Závěr	83
Přílohy.....	84
19. Seznam použitých zdrojů informací	85

Seznam použitého značení

D_V	vnější průměr trubky	[m]
E	modul pružnosti v tahu pro ocel	[MPa]
F	síla v táhle	[N]
F_{PRO}	kritická síla pro proražení strusky v cyklonu	[N]
F_{rA}	radiální síla	[N]
J	kvadratický moment	[mm ⁴]
M_{Omax}	maximální ohybový moment	[N · mm]
P_1	tlak v neotočné části	[MPa]
P_2	tlak v otočné části	[MPa]
P_{D1}	dovolené tlaky v otočné části	[MPa]
P_{D2}	dovolený tlak v neotočné části	[MPa]
Q_S	sypná hmotnost	[kg · m ⁻³]
R_{em}	vypočtená mez kluzu	[MPa]
S	plocha čepu namáhaného smykem	[mm ²]
S_1	plocha kolíku namáhána smykem	[mm ²]
S_2	otlačená plocha v táhle	[mm ²]
S_V	plocha průřezu trubky	[m ²]
V_S	objem nádoby pro odběr vzorku	[m ³]
W_O	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
a	rozměr čepového spoje (délka táhla v ose čepu)	[mm]
b	délka prostřední části čepu	[mm]
c	rameno pro výpočet čepu	[m]
c_{II}	součinitel typu zatížení	[-]
c_{III}	součinitel zatížení	[-]
d	průměr čepu	[mm]
d_1	vnitřní průměr cyklonu	[m]
d_2	průměr vyzdívky	[m]
d_3	vnější průměr cyklonu	[m]
d_V	vnitřní průměr trubky	[m]
i	poloměr setrvačnosti	[m]
k	míra bezpečnosti	[-]

l	délka trubky	[m]
l_{red}	redukována délka pístnice	[m]
l_v	délka odběrové misky	[m]
l_{zC}	délka zdvihu pohonu	[m]
m_1	hmotnost jednoho odběru vzorku	[kg]
q_l	tepelné ztráty 1m trubky	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
t	střední teplota	[°C]
t_1	teplota vnitřní stěny cyklonu	[°C]
t_{10}	čas pohybu z klidové polohy do cyklonu	[s]
t_{1Z}	čas zpětného chodu odběru	[s]
t_2	teplota vnější stěny cyklonu	[°C]
t_c	průměrný čas jednoho odběru	[s]
t_{S3}	teplota vnějšího povrchu cyklonu	[°C]
t_n	čas odběru v cyklonu	[s]
t_{tech}	technologický přídavek pro čas	[s]
t_{Vmax}	doba výsypu	[s]
t_Z	čas zpětného zasunutí do klidové polohy	[s]
v_{1M}	lineární rychlost pohonu	[m · s ⁻¹]
α_1	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně cyklonu	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
α_2	součinitel přestupu tepla na vnější straně cyklonu	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
β	součinitel uložení při vzpěru	[-]
λ	štíhlost trubky	[-]
λ_1	tepelná vodivost vyzdívky	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
λ_2	tepelná vodivost ocelové trubky	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
λ_m	mezní štíhlost	[-]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_{DO}	napětí v ohybu (dovolené)	[MPa]
σ_O	napětí v ohybu	[MPa]
σ_{Pt}	mez pevnosti	[MPa]
σ_{KR}	kritické napětí podle Tetmajera	[MPa]
σ_t	napětí v tahu	[MPa]
σ_u	napětí na mezi úměrnosti	[MPa]

τ_{DS}	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
τ_S	napětí ve smyku	[MPa]

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá realizací projektu automatizovaného odběru vzorků surovinové moučky v cementárně. Toto zařízení má nahradit současnou technologii, která se provádí ručním odběrem.

Práce je zpracovávána prostřednictvím firmy DSD-Dostál a.s., zabývající se projekcí a strojírenskou výrobou se zaměřením na dopravu a manipulaci se sypkými hmotami. [10]



Obr. 1.1: Výroba DSD-Dostál a.s

1. Zákazník diplomové práce

Zákazníkem diplomové práce je cementárna v Čížkovicích. Historie cementárny v Čížkovicích a samotné těžby vápence sahá až do konce 19. století. Od roku 1992 je cementárna ve vlastnictví nadnárodní společnosti LAFARGE se sídlem ve Francii. [7]



Obr. 1.2: Cementárna Lafarge Čížkovice

1.1 Výroba cementu v Lafarge Čížkovice

Základní výrobní surovina (vápencový slín) pro výrobu, těžená v nedalekém lomu Úpohlavy, je primárně zdrobňována v pojízdné drtírně, která je umístěna přímo v lomu. Podrcená surovina je z pojízdné drtírny dopravována gumovým transportním pasem na předhomogenizační skládku surovin - zásobárnu suroviny - v areálu společnosti vzdáleném cca 3 km. Z předhomogenizační skládky je surovina dopravována do mlýnice suroviny pracující v uzavřeném okruhu. Sestává se z kulového mlýna a dvou třídičů. Systém surovinové mlýnice je vyhříván odpadními plyny z výměníku. [7]



Obr. 1.3: Těžba vápence



Obr. 1.4: Mobilní drtič vápence



Obr. 1.5: Výměníková věž s cyklony

Namletá surovina je dopravována do homogenizačních sil, kde je skladována a homogenizována. Princip homogenizace spočívá v trvalém odebrání mleté suroviny ze všech sil a jejím vracení vždy do jednoho sila. Do tohoto sila se rovněž namílá surovina ze surovinové mlýnice. Zhomogenizovaná surovina je elevátorem dopravována do výměníku. K předehřevu a kalcinaci suroviny slouží pětistupňový cyklónový výměník s kalcinačním kanálem. Surovina je do výměníku dávkována z homogenizačního sila přes pasovou váhu. K výměně tepla dochází v protiproudu a surovina je v jednotlivých cyklónech ohřívána horkými plyny z rotační pece a kalcinačního kanálu, který umožňuje spalování pevných paliv a odpadů. Dále je vybaven dvěma hořáky pro spalování kapalných paliv. Odpadní plyny z výměníku se využívají k sušení suroviny v mlýnici suroviny. Doba zdržení plynů v kalcinačním kanálu činí min. 2,7 s při teplotě vyšší než 850 °C. Předehřátá surovina je kalcinována v kalcinačním kanále, poté vstupuje přes patní kus do rotační pece. Zařízení na výrobu cementářského slínku tvoří jedna rotační pec pro suchý výpal slínku s projektovanou kapacitou 2 700 tun slínku za den. V rotační peci o průměru 4,4 m a délce 72 m je dokončena kalcinace suroviny a dochází ke slinování za tvorby slínkových minerálů.



Obr. 1.6: Rotační pec

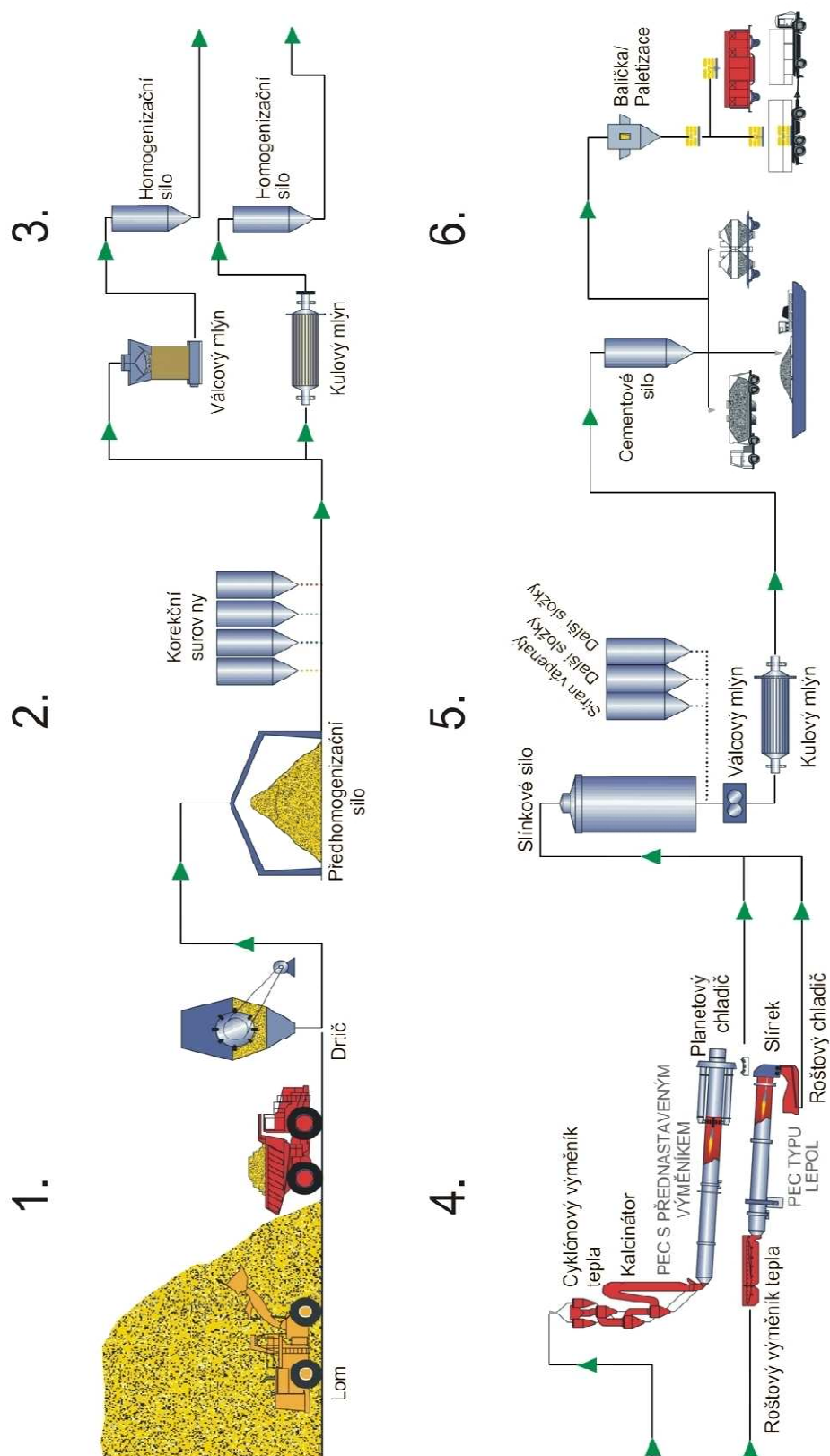
Žárovou hlavou pece prochází hlavní hořák rotační pece, umožňující současné spalování kapalných i pevných paliv a odpadů při teplotách vyšších než 1250 °C; doba zdržení spalných plynů v rotační peci činí 5 - 8 s při teplotách nad 1200 °C. Jako hlavní/primární palivo je pro výpal slínku používán hnědouhelný multiprach nebo těžký topný olej, popř. pyrolýzní topný olej. Pro spalování přídavných/sekundárních paliv je hlavní hořák pece vybaven 2 tryskami menších průměrů, které umožňují spalování kapalných paliv/odpadů a dále je vybaven samostatným vzduchovým kanálem pro spalování pevných paliv/odpadů.

Dávkování paliv do systému je řízeno automatickým systémem. Slínek vypadávající z rotační pece je chlazen v roštovém chladiči slínku. Do spodních komor chladiče je vháněn pomocí ventilátorů chladný vzduch, který prochází vrstvou slínku rozprostřeného na roštové ploše. Teplejší část předehtého vzduchu je použita v rotační peci a kalcinátoru jako spalovací vzduch. Chladič je rovněž řízen automatickým systémem. Ochlazený slínek je dopravován kabelkovým dopravníkem do ocelového velkoprostorového slínkového sila. Ze slínkového sila je slínek dopravován společně s dalšími přísadami přes dávkovací zařízení do oběhových cementových mlýnic - CM1, CM2. CM1 sestává z kulového (trubnatého) dvoukomorového mlýna a třídiče. CM2 (horizontální mlýn Horomill) sestává z válcového jednokomorového mlýna a třídiče. Při konečném mletí dochází k drcení slínku a k zapracování dalších přísad (sádrovec, struska, sádra, korekční vápenec, popílek) do finálního cementového prášku. [7]



Obr. 1.7: Kulový mlýn

Namletý cement je dopravován do expedičních sil, odkud je expedován buď jako volně ložený v místě expedičních sil, nebo do železničních vagónů na vlečce společnosti, anebo jako balený do pytlů. Vedle slínku je jedním ze základních substrátů pro výrobu směsných portlandských cementů vysokopecní struska. Pro účely odstranění vlhkosti z vysokopecní strusky je ve společnosti provozována fluidní sušárna strusky s hořákem na zemní plyn. K vlastnímu vysušení strusky dochází ve vlnosu ve fluidní vrstvě. Dalším zařízením provozovaným společností je drtírna pevných odpadů. Jedná se o zařízení ke sběru, výkupu a využívání (před úpravě) odpadů dle zákona o odpadech. V drtírně odpadů dochází k před úpravě pevných odpadů drcením a mletím za účelem přípravy paliva vyrobeného z odpadů, které je následně energeticky využíváno v cementářské rotační peci na základě platných povolení formou spalování odpadu. Tento způsob využívání odpadů přináší rovněž úsporu fosilních paliv z neobnovitelných přírodních zdrojů. Společnost Lafarge Cement, a.s. kromě portlandských a portlandských směsných cementů a Multibatu vyrábí tzv. mleté vápence pro odsiřování. Surovinou pro výrobu odsiřovacích vápenců je nadložní vrstva vápencových slínů, které jsou těženy pro výrobu cementu v lomu Úpohlavy. Surovina je v pojízdě drtírně v lomu rozdrobena a poté je dopravována gumovým transportním pasem na předhomogenizační skládku surovin - zásobárnu suroviny - do areálu společnosti vzdáleného cca 3 km. Z předhomogenizační skládky (zásobárny suroviny) je surovina dopravována do dvourotorového drtiče, vytápěného plyny ze spalovací komory, vytápěné těžkým topným olejem. Rozdrcená a vysušená surovina je třídícím systémem rozdělena na hotový produkt a odprašky. Produkt (vápeneček pro odsiřování) je dopravován do expedičních sil. Expedice hotového produktu je prováděna do auto cisteren v místě expedičních sil nebo do železničních vagónů na vlečce společnosti, kam se materiál dopravuje uzavřeným trubkovým dopravníkem. [7]



Obr. 1.8: Zjednodušené technologické schéma výroby cementu [17], 1 - Těžba cementářských surovin, 2 - Drcení surovin, 3 - Předhomogenizace surovinové směsi, 4 - Mletí surovinové směsi, 5 - Výpal slínku, 6 - Mletí slínku.

1.2 Cement

Výsledkem tohoto výrobního procesu je cement. Je to surovina používaná převážně ve stavebnictví. Jedná se o práškové hydraulické pojivo, které po smíchání s vodou tuhne a tvrdne. Jeho schopnosti pojít jiné sypké látky v pevnou hmotu se využívá při výrobě betonových nebo maltových směsí.



Obr. 1.9: Pytle s cementem

Při výrobě cementů je základní surovinou vápenec. Dalšími přísadami jsou slíny a slinité vápence, křemičitý písek, kazivec, nebo železná ruda.

2. Vzorkování materiálu

Cíl vzorkování vyplývá z účelu, pro který je odběr vzorků prováděn. Odběr vzorku lze rozdělit na ruční a mechanický. Hlavní technologické úkony, které musí zajistit zařízení pro mechanické vzorkování, nahrazují ruční práci při:

- a) odběru vzorků,
- b) redukci zrnitosti,
- c) dělení množství.

K této hlavní činnosti odběru vzorku patří doplňkové zařízení, mísiče, mezizásobníky, dopravníky apod.

Konstrukce vzorkovače závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- a) místo odběru vzorků a uložení vzorkovaného celku,
- b) účel vzorkování,
- c) zrnitost a vlhkost (lepivost) vzorkovaného materiálu.

Z hlediska technologické přesnosti je nejvhodnější odběr vzorků z proudu dopravovaného materiálu. Zařízení je jednodušší. Výsledky jsou přesnější, a proto vhodné i pro automatickou regulaci technologických procesů při zpracování vzorkovaného materiálu. Hlavním kritériem návrhu na vzorkovací zařízení je jeho správná technologická funkce. To znamená, že vzorkování je správné, souhlasí-li sledované fyzikální a chemické vlastnosti vzorku s předepsanou pravděpodobností s vlastnostmi původního vzorkovaného celku. [1]

2.1 Vzorkování ve státních normách

Vzorkováním se zabývají některé státní i zahraniční normy. Vzorkováním se všeobecně zabývá norma ČSN 015110. Tato norma popisuje vzorkování jako celek od vstupních parametrů až po realizaci výsledných tabulek.

Existují i normy zabývající se konkrétně vzorkováním cementu.

- ČSN EN 196-7 Metody zkoušení cementu – Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu
- ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu, stanovení pevnosti
- ČSN EN 196-2 Metody zkoušení cementu, chemický rozbor cementu
- ČSN EN 196-6 Metody zkoušení cementu, stanovení jemnosti mletí
- ISO 10 450 Cement – Test methods - Methods of taking and preparing samples (Cement – Zkušební metody – Metody pro odběr a úpravu vzorků)

Pro případ návrhu vzorkovací stanice je nejbližší normou ČSN EN196-7. Tato norma stanovuje a popisuje několik základních parametrů pro kvalitní odběr materiálu při výrobě cementu od těžby vápence až po konečnou úpravu a balení. Cílem této práce není rozbor této normy, a proto se omezím jen na několik základních částí normy.

- 1) Účel a oblast použití, definice, všeobecné vstupní parametry.
- 2) Způsoby odběru vzorků a předepsané postupy.
- 3) Četnost odběrů a volba druhu vzorku.
- 4) Velikost a úprava vzorku.
- 5) Balení a skladování, protokol odběru vzorků.

V příloze normy jsou schematické výkresy obvyklých zařízení pro odběr vzorků.

Především z této normy je při návrhu některých částí automatického vzorkování vycházeno. [8]

2.2 Obecné zásady konstrukce a funkce vzorkovače

- a) Objem odběrného zařízení by neměl při odběru jednoho dílčího vzorku zaplněn více než do $\frac{3}{4}$ a musí se zamezit ztrátám vzorku.
- b) Odběrové zařízení nesmí měnit jakost vzorku.
- c) V koncových polohách pohybu nesmějí v odběrném zařízení po odběru dílčích vzorků zůstat části vzorku.
- d) Základní funkční součásti stroje, (šířka odběrné štěrbiny, délka dráhy odběrného zařízení, rychlost chodu) by měly být seřiditelné.
- e) Vzorkovač nesmí způsobovat systematické chyby při odběru dílčích vzorků.
- f) Hmotnost dílčích vzorků z rovnoměrného proudu materiálu musí být přibližně stejná.
- g) Odběrné zařízení by mělo protínat celou výšku a šířku dopravovaného materiálu bez ztrát vzorku.
- h) Rychlost odběrného zařízení by měla být stálá.
- i) Šířka štěrbiny odběrného zařízení musí být minimálně 2,5 krát větší než maximální velikost zrna kontrolované suroviny.

2.3 Dělení vzorkovačů

Dle umístění:

- a) Vzorkovače na přesyp dopravních cest nebo výstup popřípadě vstup do technologického zařízení.
- b) Vzorkovače pro odběr vzorků z povrchu dopravních cest.
- c) Vzorkovače do potrubí a žlabů.

Důležitým vlivem je také zrnitost a lepivost materiálu. Tyto vlastnosti velmi ovlivňují jakost a povrchové úpravy činných částí vzorkovače.

Podle zrnitosti a vlhkosti materiálu:

- a) Vzorkovače na sypké hmoty.
- b) Vzorkovače na kaly, suspenze a kapaliny.

Podle odběrné doby:

- a) Vzorkovače kontinuální (stále odebírají určitý díl vzorku).
- b) Vzorkovače s odběrem po intervalech (vhodné pro heterogenní materiály – uhlí, rudy).

Vzorkovací zařízení se obvykle skládá:

- a) odběrná část (vzorkovnice, klapka, lopatka která vykonává vlastní vzorkování),
- b) pohybový mechanismus,
- c) pohon,
- d) ovládací část.

Pohyb odběrné části vzorkovače zpravidla bývá:

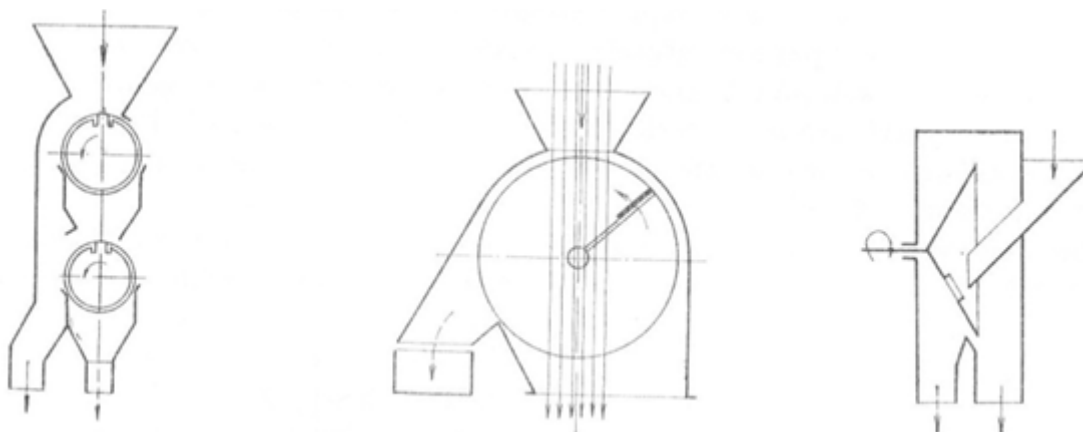
- a) přímočarý vratný,
- b) rotační,
- c) kývavý.

Ze zadání je zřejmé že, vzorkovaným materiálem je surovinová moučka, sypká jemnozrnná struktura. [2]

2.4 Děliče

Zvláštním případem vzorkování je dělení. V podstatě jde o zmenšování objemu vzorku.

Příklady děličů:



Obr. 2.1: (Zleva) Bubnový dělič, Lopatkový dělič, Kalichový dělič

3. Vzorkovače pro sypké a zrnité materiály malé a střední zrnitosti

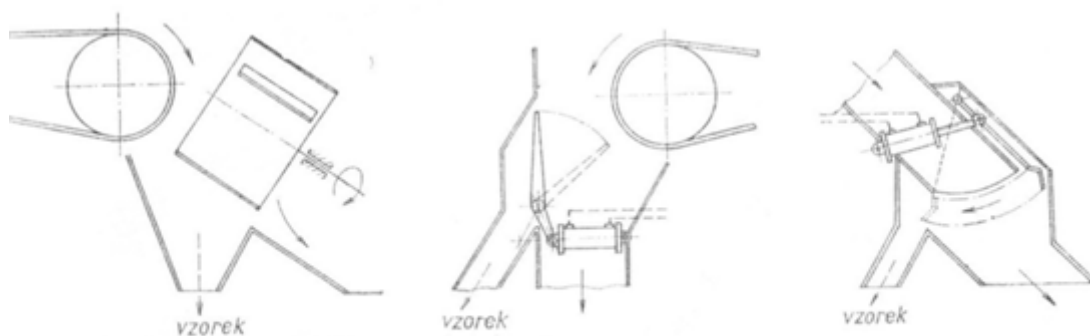
V současné době existuje celá řada odběru vzorků. Liší se celou řadou hledisek (materiál, odběrové místo, množství odběrové misky apod.).

Podle charakteristické konstrukce se mohou vzorkovače syp. hmot rozdělit na:

- a) Vzorkovače na přesyp dopravních cest nebo výstupu ze strojů (zde lze zařadit i případ odběru z roury výměňkové věže).
- b) Vzorkovače pro odběr z povrchu dopravníku.

Vzorkovače na přesyp se používají nejčastěji, lze je rozdělit na:

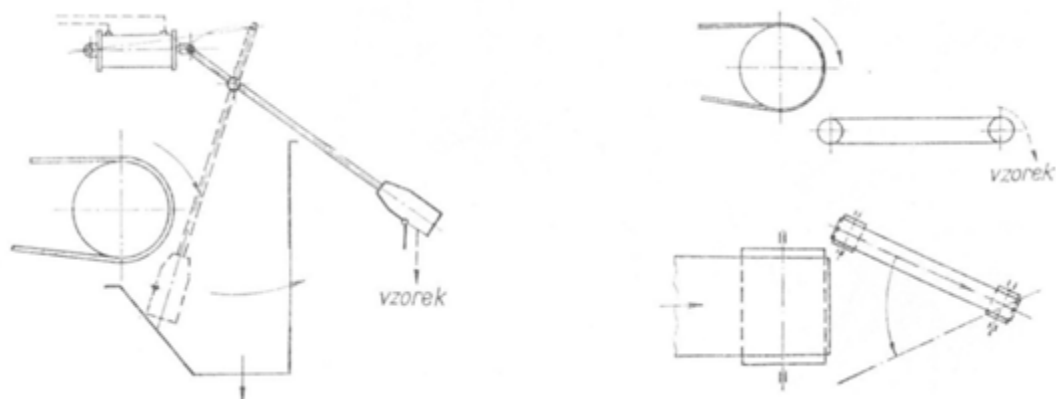
- a) korečkové,
- b) skipové,
- c) bubnové,
- d) klapkové,
- e) lopatkové.



Obr. 3.1: (Zleva) Bubnový vzorkovač, Klapkový vzorkovač, lopatkový vzorkovač

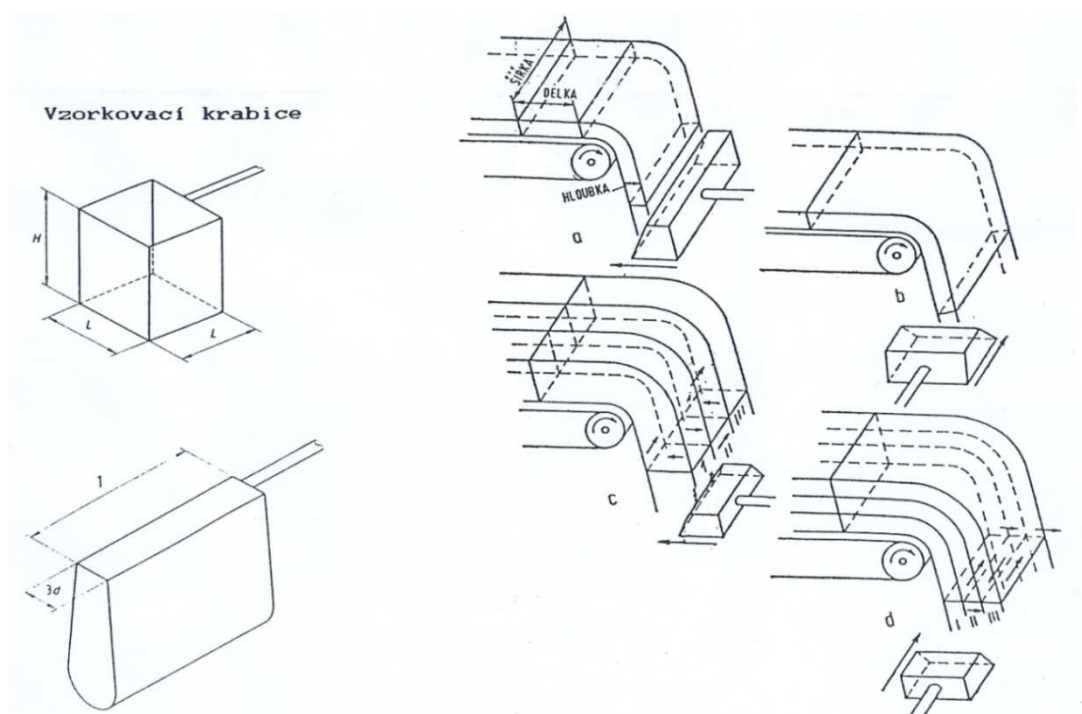
Vzorkovače pro odběr z povrchu dopravníku:

- a) páskové,
- b) lžícové,
- c) kyvadlové.

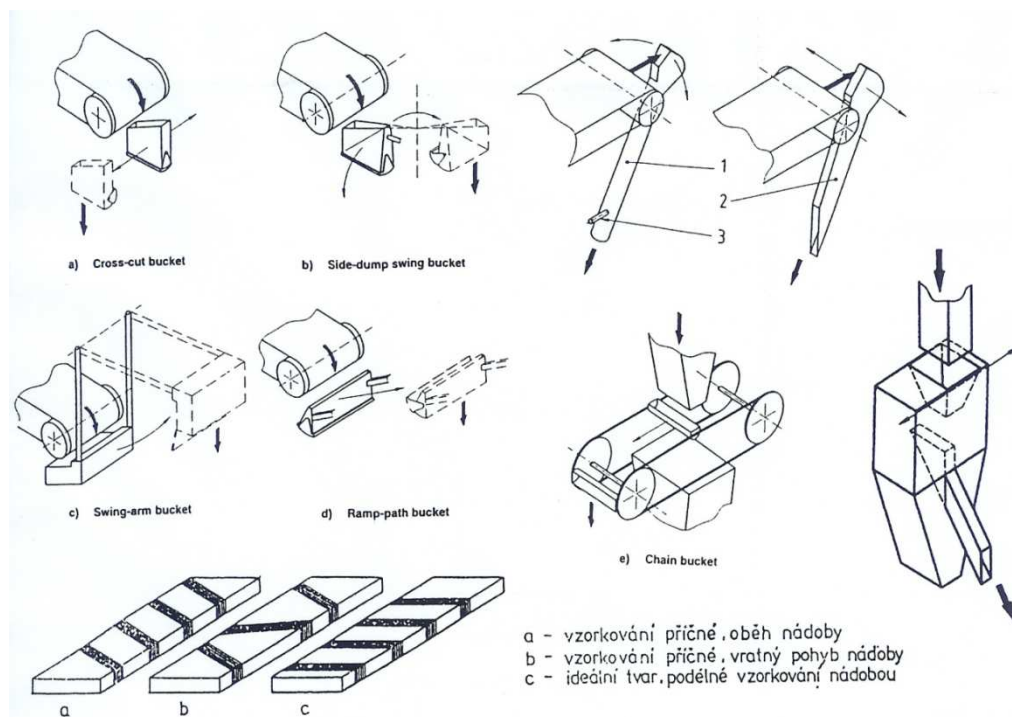


Obr. 3.2: (Zleva) Korečkový vzorkovač s kývavým pohybem, Páskový vzorkovač s kývavým pohybem

3.1 Příklady vzorkování při spádovém odběru materiálu



Obr. 3.3: Lopatkové ruční vzorkování, příklady



Obr. 3.4: Příklady způsobů odběru vzorku

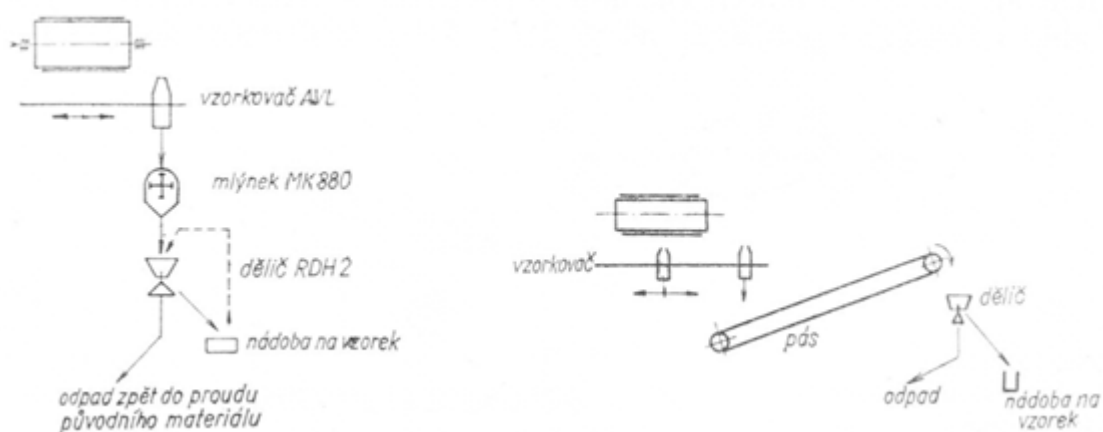
Existuje celá řada dalších vzorkovačů, jejich princip je vždy stejný, odebrat požadované množství materiálu pro další použití. [2]

4. Kontrolní vzorkovací linky

Kontrolní vzorkovací linky jsou vlastně souborem zařízení, které slouží k samotnému odběru. Tato zařízení jsou sestaveny nejen ze samotného vzorkovače, ale i z dalších technologických komponentů, které odběr materiálu usnadňují či zlehčují. Mohou také materiál po odběru např. homogenizovat a udržet ho tak v reprezentativní formě pro kvalitní výsledek měření. [2]

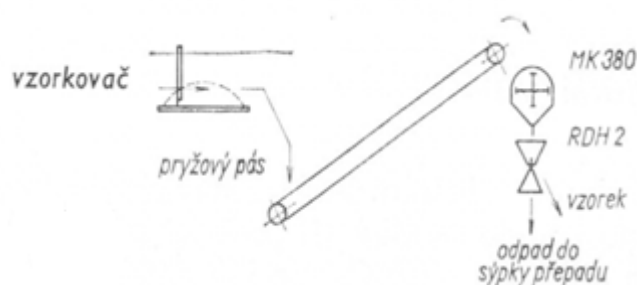
Případy vyskytující se v oblasti vazby strojů (vzorkovacích linek) lze rozdělit do tří hlavních skupin:

- a) vertikální,
- b) horizontální,
- c) kombinované.



Obr. 4.1: (Zleva) Vertikální kontrolní linka, Horizontální kontrolní linka

Jde vlastně o rozdělení podle pohybu vzorkovaného materiálu. Nejvýhodnější a nejjednodušší je sestavení vertikální, které využívá samospádu materiálu z jednoho stroje do druhého. Příklad tohoto sestavení je na obr. Obsahuje pouze technologické stroje, v tomto případě vzorkovač, drtič, mlýnek a dělič. Nejméně vhodné je sestavení horizontální, kdy jsou jednotlivé technologické stroje umístěny na jednom podlaží a materiál se z jednoho do druhého dopravuje transportními pásy nebo jiným vhodným zařízením. Toto uspořádání je schematicky znázorněno na obr.



Obr. 4.2: Kombinovaná kontrolní linka

Nejpoužívanější je sestavení kombinované, kdy je část kontrolní vzorkovací linky vertikální a část horizontální. Obr. 5.2.

5. Důvody odběru vzorku materiálu

TAB. 5.1: Kontrola jakosti při výrobě cementu - vybraná vzorkovací místa

	Místo odběru vzorků	Stupeň výroby	Vzorkovaný materiál	Četnost vzorkování	Způsob vzorkování	Druh zkoušky
1	lom	těžba suroviny	vrtná moučka	z každého vrtu	automatický vzorkovač	chemické složení
2	za drtičem suroviny	drcení suroviny	Před drcením surovina	podle potřeby	ruční odběr z pasů	granulometrie
3	<i>za surovinovou mlýnicí</i>	<i>mletí suroviny</i>	<i>surovinová moučka</i>	<i>min 1x za dvě hodiny</i>	<i>automatický vzorkovač (vzorkař)</i>	<i>chemické složení granulometrie</i>
4	před vstupem do výměníku	homogenizace	surovina na výpal	min 1x za dvě hodiny	automatický vzorkovač (vzorkař)	chemické složení
5	za drtičem slínku	výpal slínku	slínek	min 1x za dvě hodiny	automatický vzorkovač (vzorkař)	chemické složení mechanicko-fyzikální vlastnosti
6	u vykládky komponentů	Komponenty cementu	struska, sádrovec, korekční suroviny	z každé dodávky	ruční odběr	chemické složení vlhkost
7	elevátor	mletí cementu	namletý cement	min 1x za dvě hodiny	automatický vzorkovač (vzorkař)	chemické složení mechanicko-fyzikální vlastnosti
8	před expedicí cementu	expedice cementu	jednotlivé cementy	min 2x za týden každý sortiment	ruční odběr	chemické složení mechanicko-fyzikální vlastnosti

Jak je patrné z tabulky, zjišťuje se chemické složení a granulometrie. [7]

6. Popis vzorkovaného materiálu

Vzorkovaný materiál v našem případě je surovinová moučka zahřátá na 800 – 1000 °C.

Cementárna Lafarge a.s. poskytla informace o materiálu. Tyto informace jsou statisticky upraveny za období 3 až 10 měsíce roku 2008.

6.1 Vzorkovaný materiál za studena

Jedná se o 80 – 90% kalcinovanou cementářskou surovinu. Jemnost mleté suroviny v ohledu zbytků na síti je 0,09 – 16% a 0,2 - 4%. Teplota materiálu v cyklonu byla měřena v intervalech 850 – 1000 °C.

Sypná hmotnost surovinové moučky je 900 kg·m⁻³.

TAB.: 6.1 Statistika prováděných chemických analýz

	Průměr	Minimum	Maximum
Cl (%)	3,995	1,49	6,35
K ₂ O (%)	6,32	8,43	8,43
SO ₃ (%)	3,66	6,64	6,64
Ztráta žíháním (%)	9,39	3,54	79,72



Obr. 6.1: Vzorkovaný materiál v chladném stavu

Úhel vnějšího tření (naměřené hodnoty)

Plech - $\varphi_P = 32^\circ$

Nerez - $\varphi_N = 21,2^\circ$

6.2 Vzorkovaný materiál v ohřátém stavu

Zhomogenizovaná surovina je dopravována do výměníku. V tomto cyklonovém 5 stupňovém výměníku dochází k předehřevu protiproudem odpadním teplem a kalcinaci.

Materiál má kromě vysoké teploty ještě jednu významnou vlastnost a to nalepování. Nalepování nelze popsat, jinak než experimentálním pozorováním. Bohužel záleží i na aktuálních podmínkách, okolní teplotě, vlhkosti, aktuální těžbě a dalších mechanicko - fyz. vlastnostech materiálu. Díky tomuto nalepování, které je patrné v jednotlivých ručních odběrech, dochází také k ulpívání materiálu na vnitřních stěnách roury výměníku. obr. 6.2, 6.3.

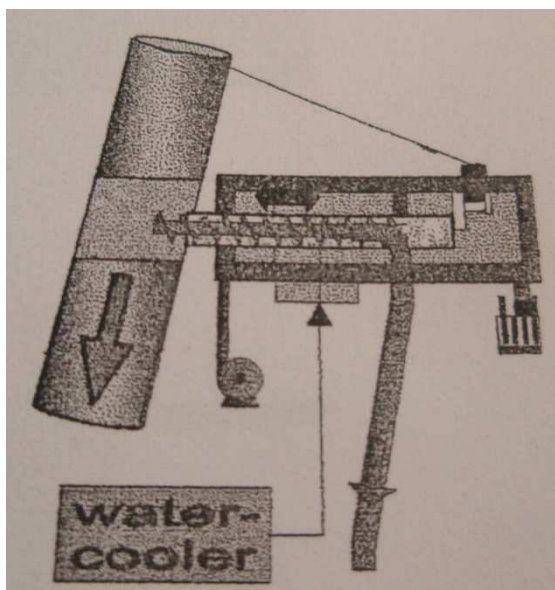


Obr. 6.2: Nálepky vznikající na vnitřní stěně cyklonu [7]

7. Konkurenční vzorkování

7.1 Polysius, konkurenční vzorkování

Nabídka německé firmy Polysius pro vzorkování horké surovinové moučky. Toto vzorkování je opatřeno vodním chlazením, metoda je podobná variantě A kapitoly 11, která pro konkrétní případ není vhodná.



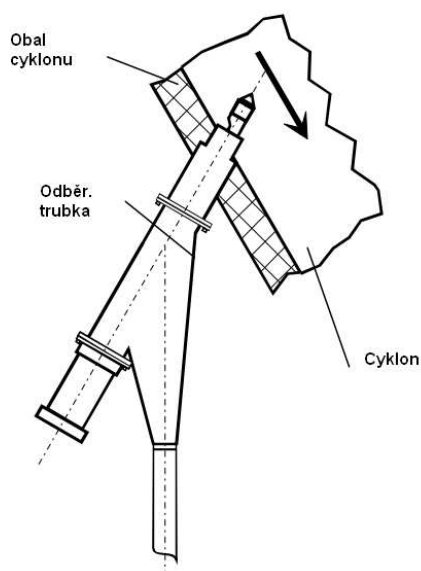
Obr. 7.1: Vzorkovač moučky Polysius

7.2 FLSmith, konkurenční vzorkování

Tato německá firma působící v oblasti sypkých hmot nabízí tento vzorkovač, jeho nevýhody jsou shrnuty v QFD. Mezi základní patří, gravitační odběr, pneu pohon, nemožnost odběru stejného objemu vzorku a dle konzultačních rozhovorů s odborníky, možné zalepování. [19]



Obr. 7.2: Vzorkovač moučky FLSmith

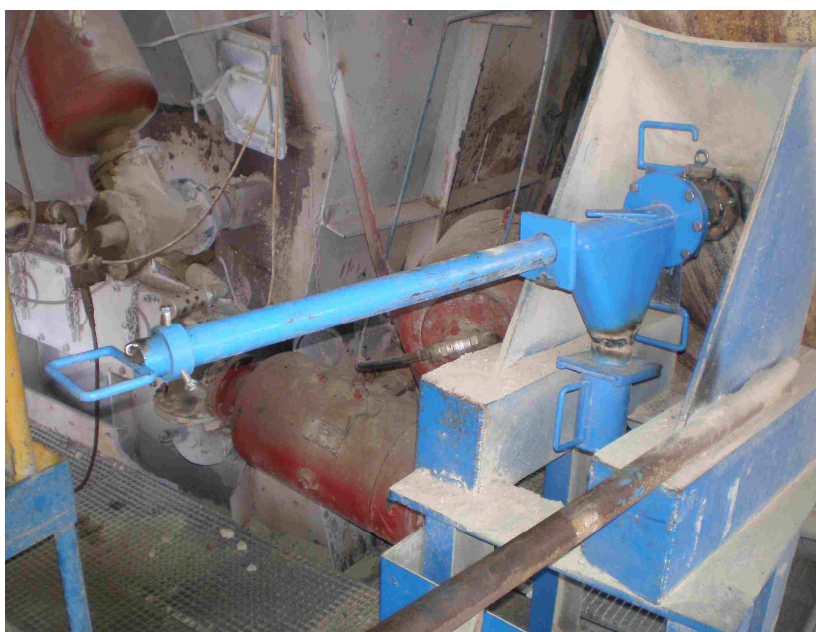


Obr. 7.3: FLSmith vzorkovač

8. Popis řešení diplomové práce

Cílem diplomové práce, jak jsem již zmínil v úvodu, je vynětí lidské ruky z nebezpečného odběru vzorků materiálu mezi 4 a 5 cyklonem výměňkové věže. Nebezpečné z důvodu teploty surovinové moučky kolem 800 – 1000 °C. Na obr. 2.1 je nastíněn současný stav odběru moučky. Jedná se o odběr cca 300 g v 6 nezávislých odběrech. Časování odběrů je různé dle potřeby laboratoře. Odběr je nutný pro sledování procesu, kvality a homogenity. Materiál je kromě teploty ještě velmi lepkavý, což je jedna z dalších barier, které jsou na konstrukci automatizovaného odběru kladeny.

Na následujících fotografiích je zřetelně znázorněn současný postup odběru.



Obr. 8.1: Ruční vzorkovač (současný stav) [7]

8.1 Současný manuální odběr



a)



e)



b)



f)



c)



g)



d)



h)

Obr.: 8.2: Popis odběru vzorku, (současný stav): a) Otevření klapky, b) Zasunutí vzorkovače žlábkem dolů, c) Otočení, nabrání, d) Vytažení vzorku, e) Výsyp oklep, f) uzavření klapky g) Odebrání vzorku, h) Kontrola trubky.

Jak jsem již zmínil, odběr probíhá ve výměníkové věži mezi 4 a 5 cyklonem.



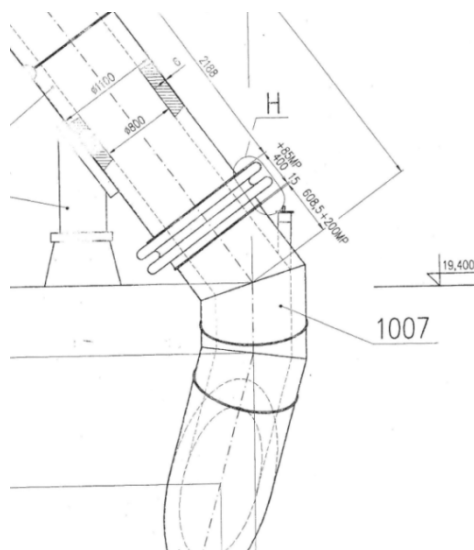
Obr. 8.3: Místo odběru vzorku

9. Dispoziční uspořádání v místě odběru



Obr. 9.1 Odběrové místo 1. Podlaží cyklonové věže

Odběr probíhá v 1. podlaží věže. Velkou výhodou pro řešení je předpřipravená příruba napojení automatického odběru vpravo nahoře od stávajícího ručního odběru. Roura výměníku je vyzdění díky působícímu teplu a snížení tepelných ztrát.



Obr. 9.2 Roura výměníku



Obr. 9.3: Příruba pro automatický vzorkovač

Napojení vzorkovače je dáno dispozicí firmy Lafarge. S tímto umístěním nelze posouvat, i jakkoli upravovat jeho polohu. Limitujícím faktorem je průměr vstupního otvoru do roury výměníku. Vnitřní průměr je 53 mm.



Obr. 9.4: Vpravo nahoře nad ručním vzorkovačem je umístěna příruba pro automatický odběr

10. Základní parametry ovlivňující konstrukční návrh

- vlastnosti materiálu (lepivost, teplota v cyklonu, chemické parametry a další mechanicko - fyzikální vlastnosti),
- v místě odběru je možnost připojení el. sítě 230/400V, dále média, jako voda (chlazení), pneumatika, hydraulika apod. si zákazník spíše nepřeje z důvodu nárůstu požadavků údržby,
- parametry odběru, jejich četnost a množství materiálu, homogenizace,
- odběrové místo (přímo v cyklonu i vnější okolní prostředí).

V konstrukčním návrhu je na prvním místě postavena funkčnost zařízení. Tato funkčnost musí zaručit odběr plnohodnotného vzorku v požadovaných intervalech. Toto zařízení musí splňovat bezpečnostní předpisy spojené s manipulací se vzorkem o teplotě 850 – 1000 °C. Nalepování, ulpívání materiálu vytváří tvrdou strusku na stěnách cyklonu a je dalším důležitým faktorem ovlivňujícím návrh zařízení. Při proražení této vrstvy je také nutné, aby byl odběrový prostor v pozici, při které nedojde k znehodnocení vzorku napadáním zbytků ztvrdlé vrstvy.

Jak je již zmíněno, lepivost, teplota a různorodost materiálu v daném odběru, které může být ovlivněno nejrůznějšími faktory (vlhkost vzduchu, okolní teplota, aktuální složení této suroviny), je základním problémem při návrhu mechaniky odběru.

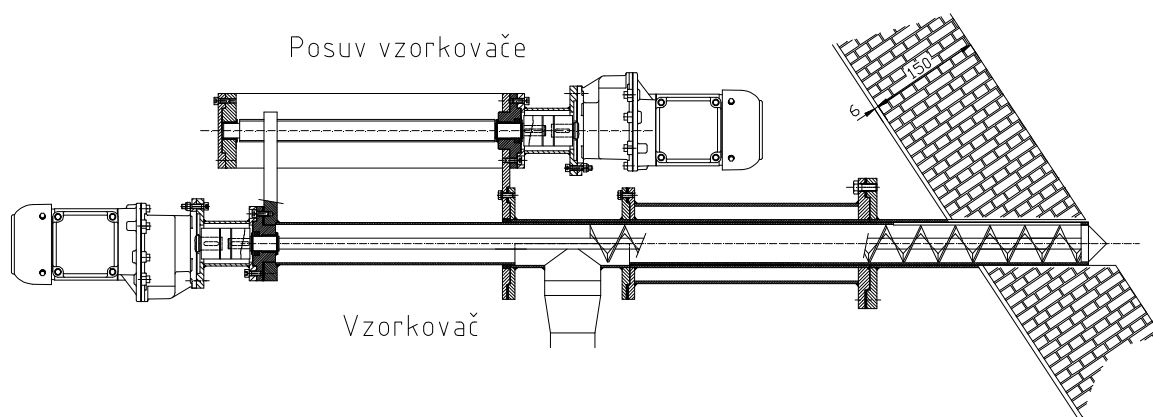
Vlastnosti materiálu, resp. jeho lepivost (schopnost ulpění), je parametr, který není nijak doposud matematicky ani fyzikálně popsán. Tato skutečnost, společně s různorodostí aktuálního složení vzorku tvoří základní úskalí návrhu. Při konzultacích s vývojovým pracovníkem firmy bude zapotřebí použít s bezpečnostního hlediska buď oklepové kladivo nebo vibromotor. Celé zařízení je vzhledem k parametrům poměrně malým strojním celkem, jeho komponenty budou navrženy tak, aby co nejlépe splňovaly funkčnost zařízení. Po konstrukci zařízení ve spolupráci s firmou DSD Dostál a jeho následnou výrobou bude ve spolupráci s cementárnou možné toto zařízení testovat a “odladit” tak případné nedostatky.

11. Možné varianty řešení

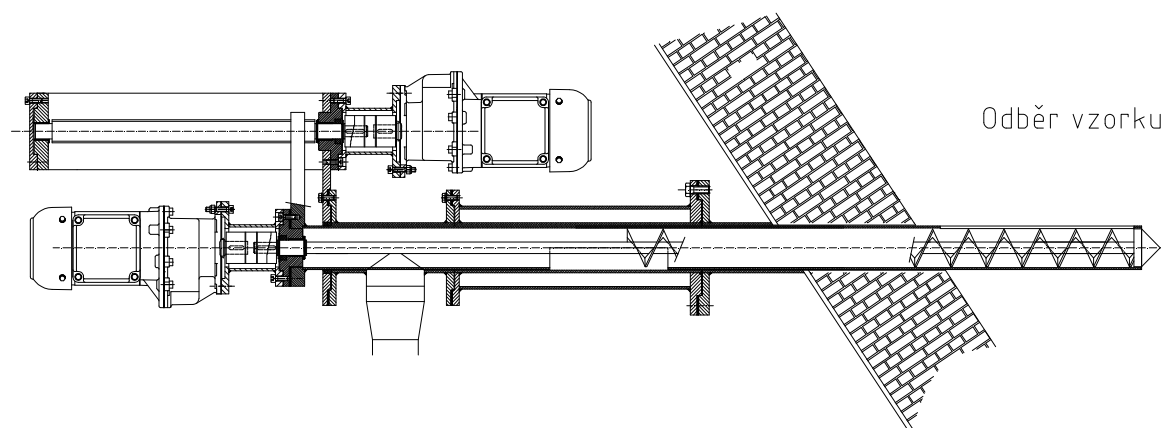
Na základě současného stavu odběru, ručního vzorkování, je možný odběr moučky několika způsoby. Jejich návrh ovlivňují některé vlastnosti, parametry odběrového místa, možné zdroje pro pohon a dále skutečnosti, které je nutné dodržet při samotném vzorkování.

11.1 Varianty řešení, schémata

Varianta A



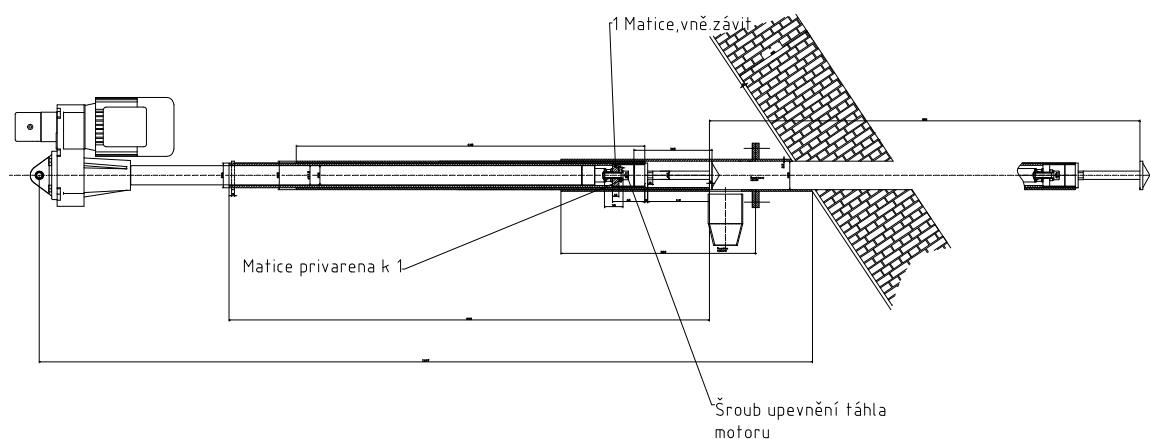
Obr. 11.1: Schéma odběru



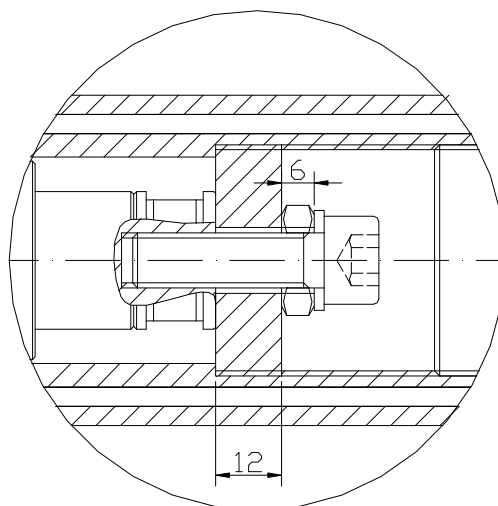
Obr. 11.2: Schéma odběru

Varianta A uvažuje šnek, je to řešení, které se šnekem zajíždí a vyjíždí při odběru ven, problémem je opět tlumení teploty a malý otvor odběru pro konkrétní případ.

Varianta B



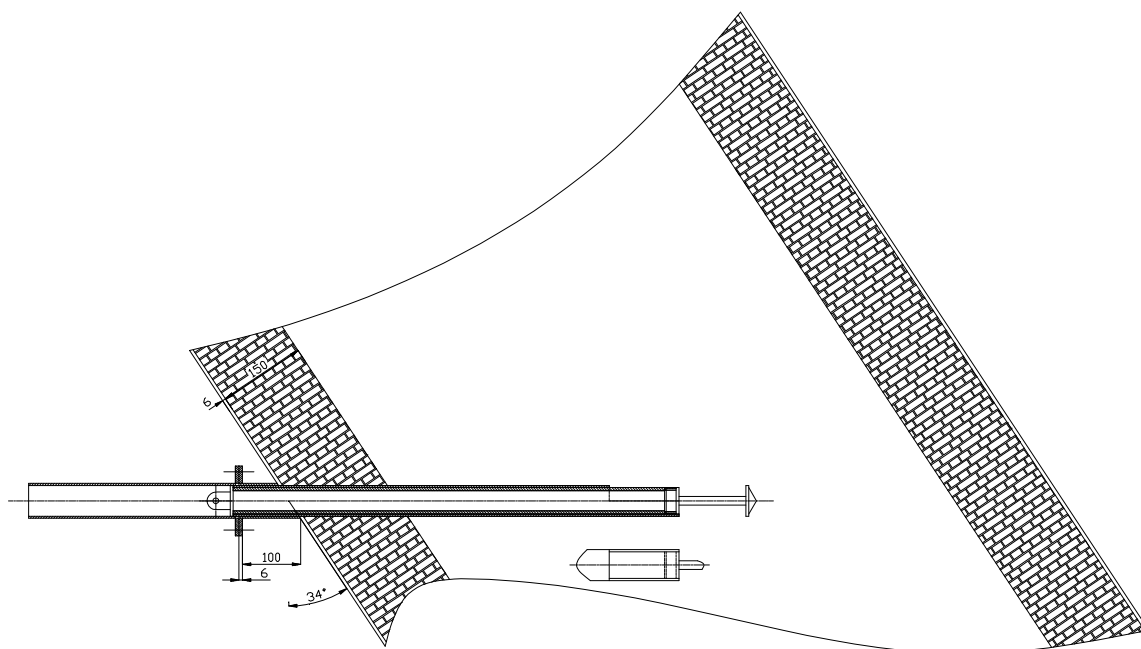
Obr. 11.3: Schéma odběru



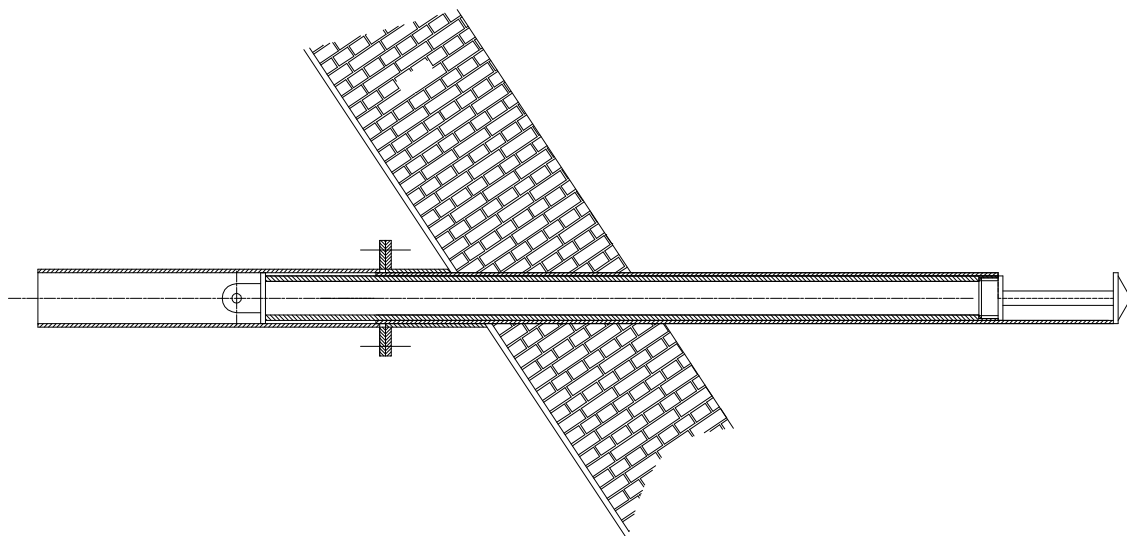
Obr. 11.4: Detail uchycení

Varianta B se skládá z 3 částí, které vzájemně pojíždějí. Viz. Postup odběru varianty B. Tato varianta uvažuje již konkrétní realizaci malého vstupního otvoru a absenci chlazení. Velké nároky jsou kladeny na použití materiálů, které odolají těmto teplotám. Varianta bude opatřena šoupátkovým uzávěrem, který oddělí odběrový jehlan od vnitřní části cyklonu, kde působí vysoké teploty. Toto zařízení bylo uvažováno pro servomotor od italské firmy Servomech. V řešení není možné umístit dorazová čidla (délky zdvihu), které jsou součástí části, která je vnořena do statické trubky servomotoru.

Varianta C



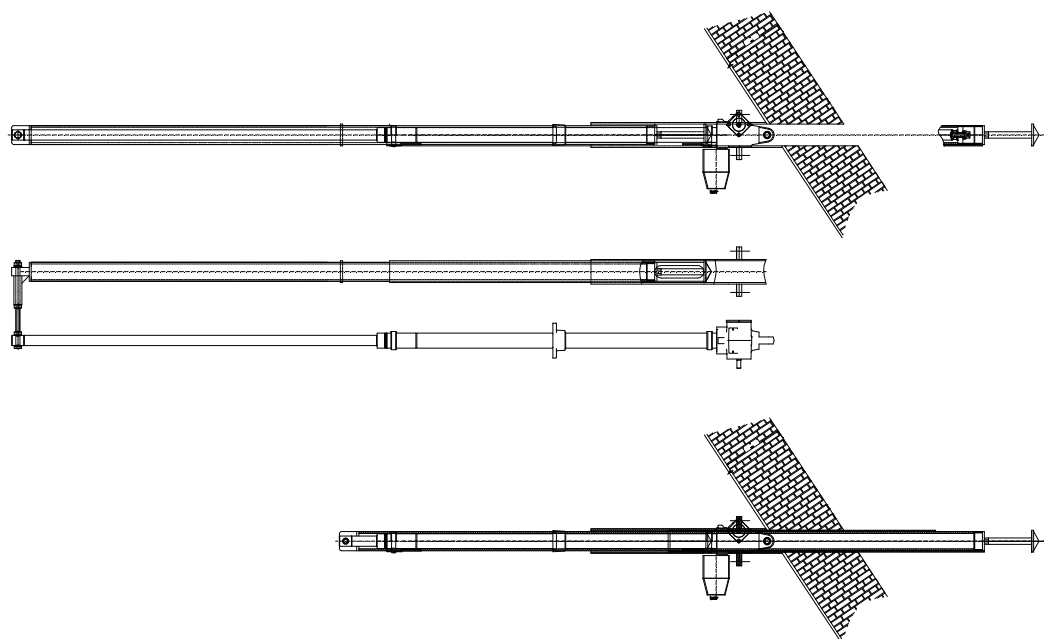
Obr. 11.5: Schéma odběru



Obr. 11.6: Schéma odběru

Tato varianta má za hlavní nevýhodu příliš dlouhé provedení vyložení s motorem. Motor, který chci použít, má zdvih 800 mm. Kromě velké možnosti přičení a zatížení vzpěrem, bude zasahovat do prostoru okolního průchodu zaměstnanců v blízkosti cyklonu. Společně s motorem by mohla čnít až 1,5 metrů od stěny cyklonu.

Varianta D

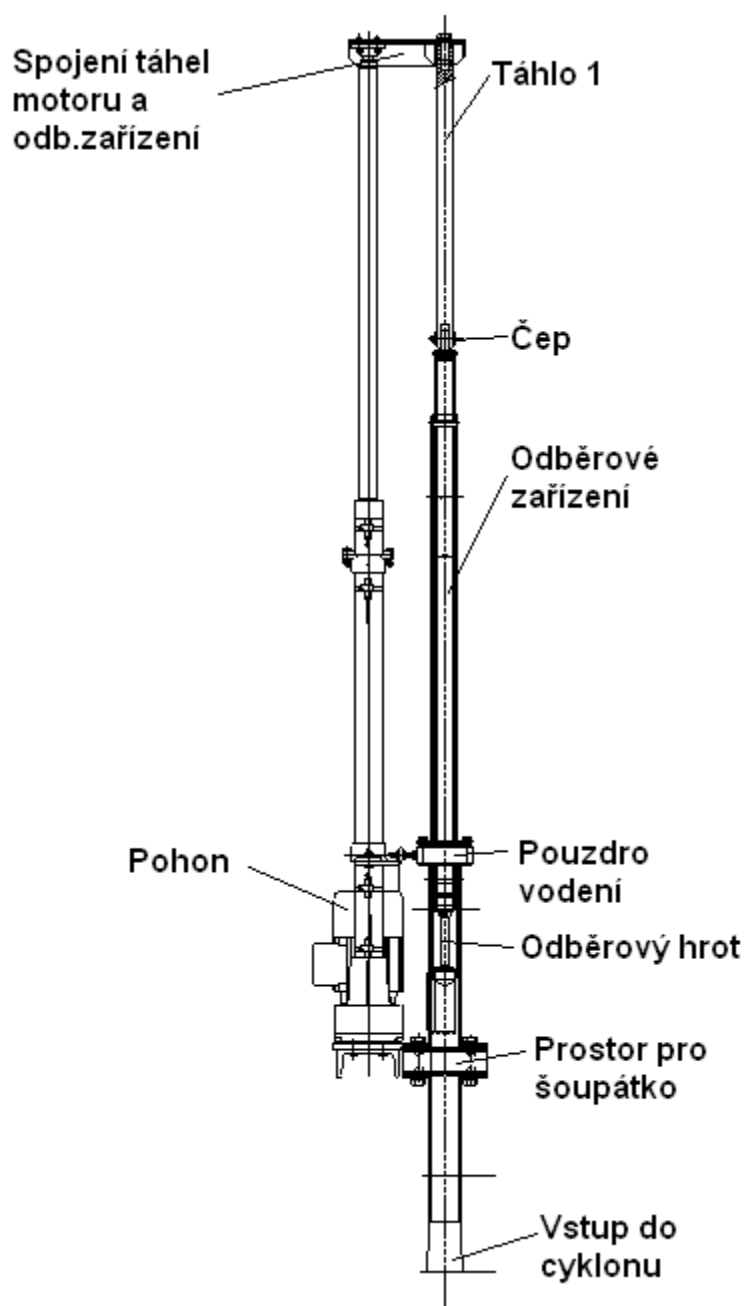


Obr. 11.7: Schéma odběru

Model varianty spojuje praktičnost délky zdvihu i funkčnost zařízení. Jedná se o variantu bočního vedení, v obr.: 11.7 je nastíněno jen orientační řešení uložení.

Varianta E

Tato varianta je konečnou verzí, po odstranění nevýhod předchozích návrhů. Je podobným návrhem, s vylepšením spojení táhla motoru a táhla vzorkovacího mechanismu. Její použití je pro kritické parametry zadání nejvhodnější.



Obr. 11.8: Schéma odběru

TAB. 11.1 Srovnání návrhových variant

			Varianty	A	B	C	D	E
Parametry zadání			Upřesnění					
Množství odběru	1 odběr cca.50g	miska syp.hmotn.						
	odběr 6x po 5 min > cca.300g	Automatické ovládání						
	Další odběr po 4 hod	Automat. ovl.						
	Možné odběr. místo dvojité							
Prorážení strusky		síla, jehlová úprava						
Napadání materiálu při průrazu	Znehodnocení vzorku	odběrová mis. Uzavřena						
Lepivost		Kladivo/vprát.						
Bezpečnost	Nesmí ohrožovat obsluhu	rám, kryty						
Zařízení pro upozornění obsluhy	Jaký je aktuální stav?	autom. řízení						
Teplota	800-1000°C	materiály, chlaz.						
Příslušenství	Varování - štítky apod.							
Nutnost zachování ruč. Odběru		stávající stav						
Bezpečná údržba	bezpečnostní prvky	čidla zásahu předm.						
Běžné funkce	nádobka naplněna apod.							
	nádobka není v zákł. poloze							
	vzorek trvale na minimum/maximum							
	vytahování vzorku - nefunkční							
Homogenizování	již ve společné sběrné nádobě	míchání vzorku						
	po poslední odběru ještě 5 min homogenizace v nádobě							
Chlazení	nedoporučuje se, voda není k dispozici, špatné zkušenosti	vzduch, voda, chl. medium						
Zatížení zařízení	délka, vzpěr							
Zrnitost	těsnění, vodící pouzdra	těs.šňůry, vedení						
Dorazová čidla	ovládání odběru							
Počet motorů								
Délka zařízení	nutno uchytit k cyklonu							
Pevnostní odolnost								

Vysvětlivky: Zelená – Splnitelné bez větších obtíží

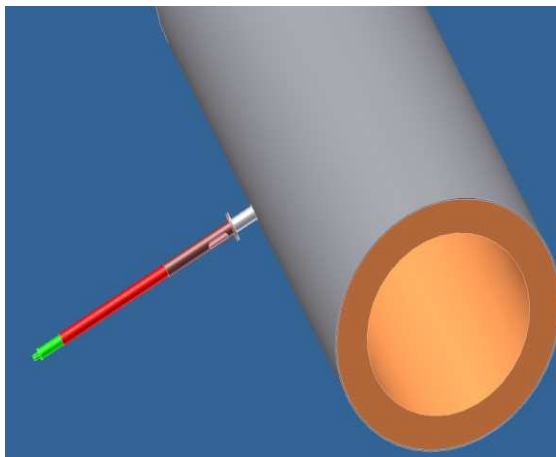
Oranžová – Obtížně splnitelné, možné případné poruchy

Červená – Velmi obtížně splnitelné, neočekávané budoucí reakce

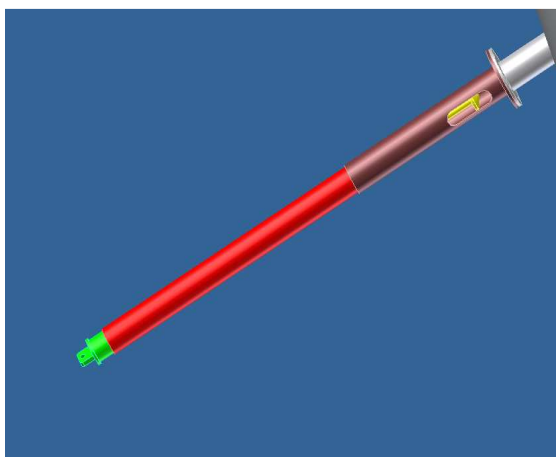
Z tabulky 11.1 vyplývá, do jaké míry varianty korespondují s poptávkou zákazníka. Použití varianty A není vhodné z důvodu nutnosti chlazení. Míň varianty je také složitost výroby a počet motorů. Varianta B by svou konstrukcí zabrala velkou část prostoru, kde se obvykle pohybuje personál cementárny. Také připojení k cyklonu z důvodu dilatací by bylo problematické díky velké délce. Varianta C je podobná s B, liší se pouze uchycením táhla motoru. Varianta D již řeší délku vyložení lineárního motoru, ale uchycení pomocí čepu by bylo pevnostně nevyhovující. Varianta E nahrazuje toto uchycení pevnějším způsobem ocelového profilu a je finálně vybrána.

12. Rozbor odběru varianty A – E

Pro ozřejmění těchto variant je další část detailně zaměřena na rozbor způsobu odběru materiálu tímto řešením.



Obr. 12.1: Klidová počáteční poloha, pohled zespodu



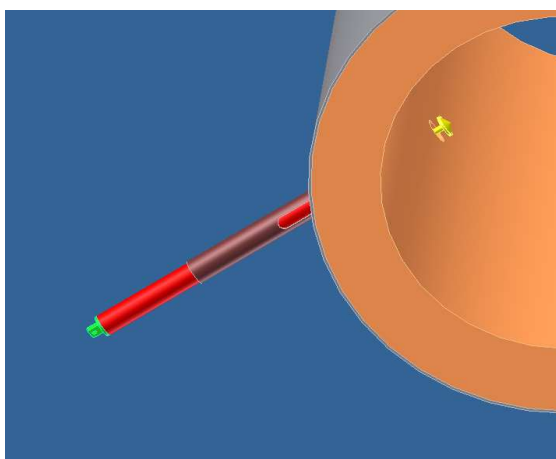
Obr. 12.2: Přímočarý pohyb do cyklonu pro odběr vzorku, brzdění středního dílu pomocí pístové těsnicí šňůry způsobí povyjetí o délku odběrového hrotu



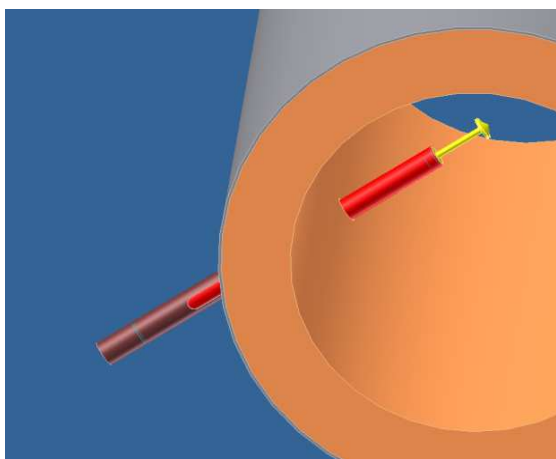
Obr. 12.3: Pokračování do cyklonu pro odebrání vzorku



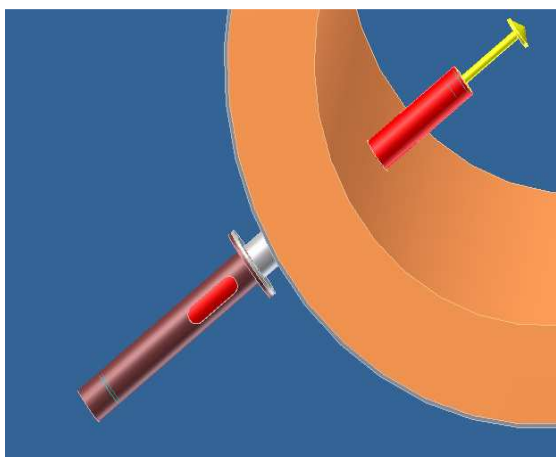
Obr. 12.4: Uzavírání výpustného otvoru (pohled zespodu), proražení strusky v cyklonu - počátek



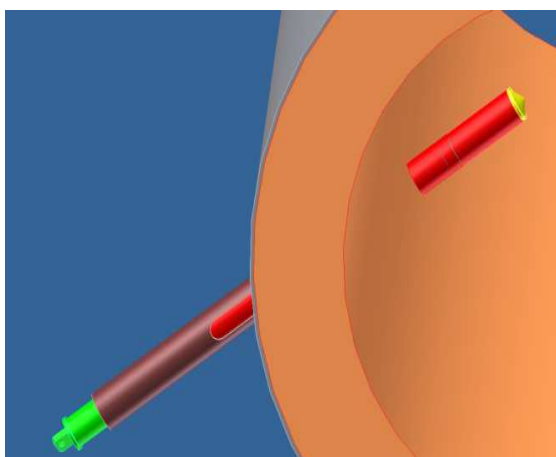
Obr. 12.5: Proražení strusky hrotem, hrot v nenabírající poloze mimo žlábek, tzn. neznehodnocení vzorku napadající struskou



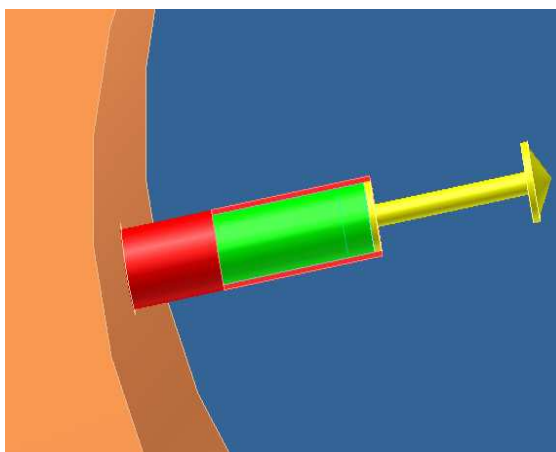
Obr. 12.6: Krajní poloha v cyklonu, vzorek nenabírán, dochází k počátku zpětného pohybu



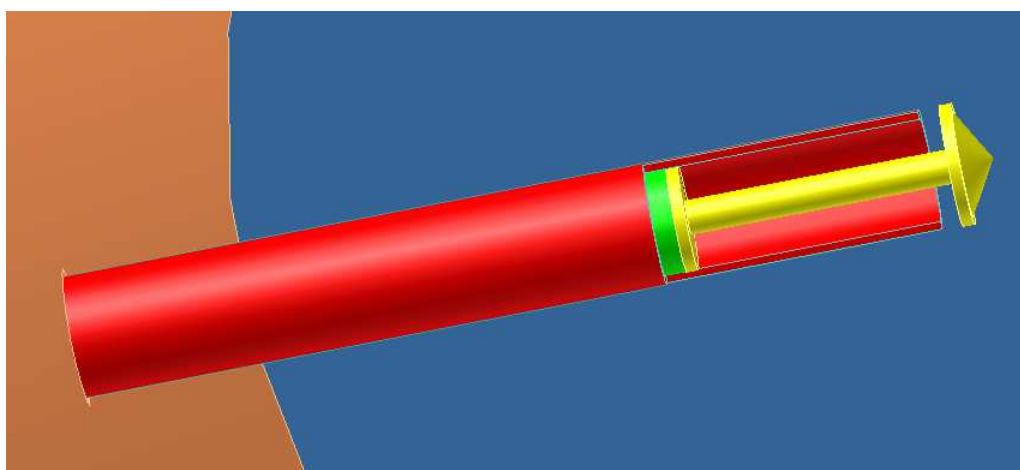
Obr. 12.7: Pohled zespodu, počátek zpětného chodu



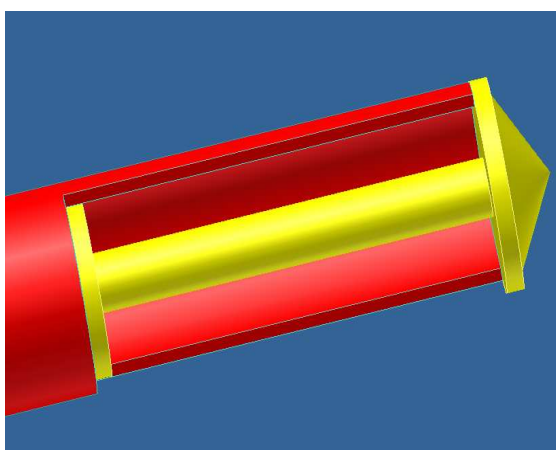
Obr. 12.8: Doraz při zpětném chodu a brzdění pístovými ucpávkami středního dílu (trubky)



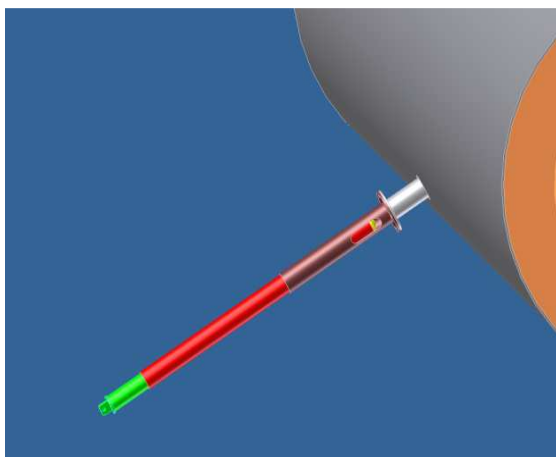
Obr. 12.9: Pohled shora, krajní poloha v cyklonu



Obr. 12.10: Zasouvání zpětný přímočarý pohyb díky brzdění červené části



Obr. 12.11: Odběr vzorku, pohled shora, napadání do “misky“



Obr. 12.12: Vyjetí do krajní klidové polohy se vzorkem



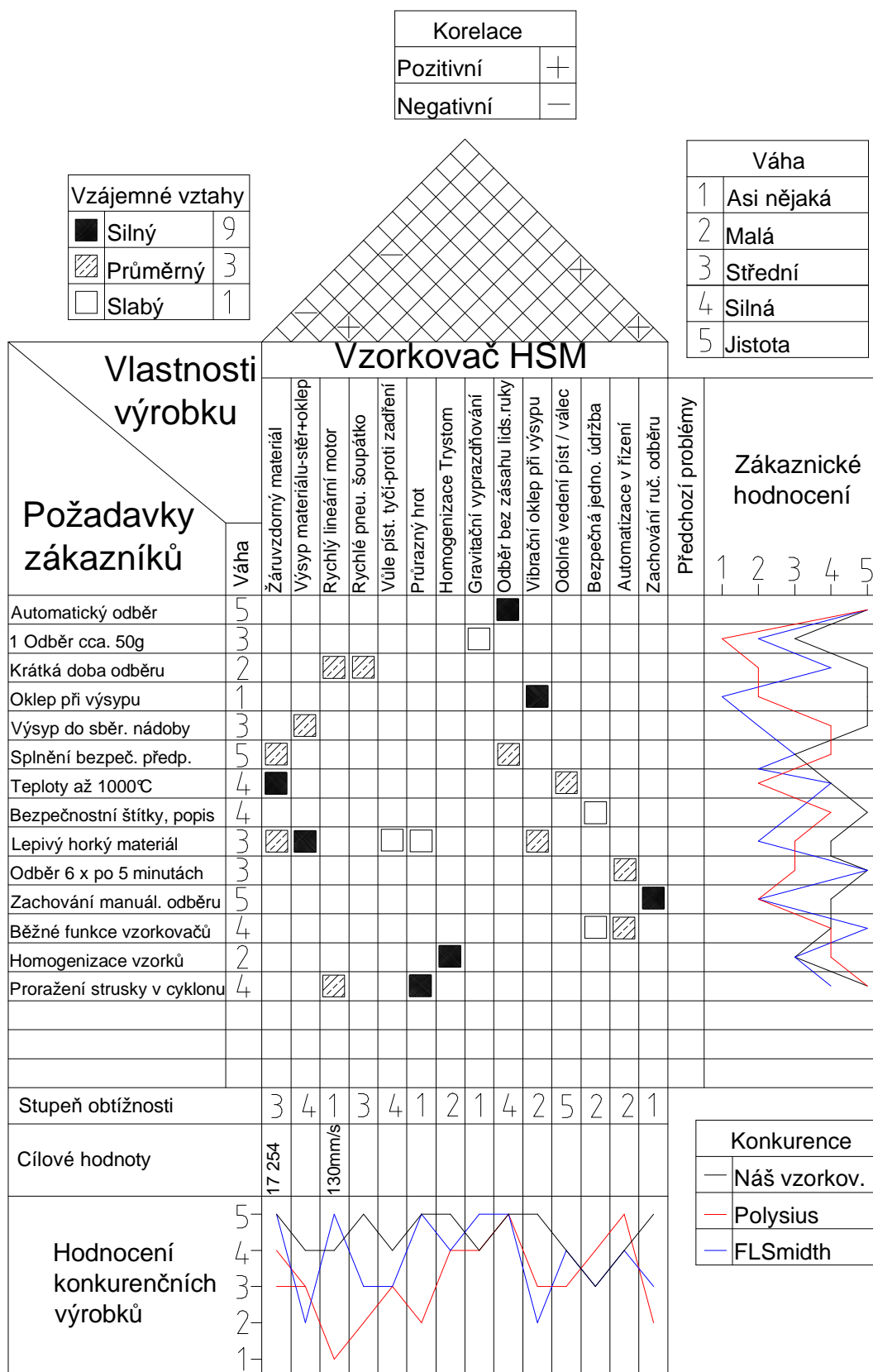
Obr. 12.13: V krajní klidové poloze i s materiálem



Obr. 12.14: Výsyp materiálu, vytlačení z červeného žlábků způsobené odporem šňůry
červené střední části

13. Srovnání varianty pomocí QFD metody

TAB. 13.1: QFD Dům kvality



Metoda QFD je velmi náročný proces při výrobě nového produktu. Základem je tzv. Dům kvality, který je znázorněn v tabulce 11.1. Kromě našeho produktu je téměř nemožné získat o konkurenčních výrobcích jakékoliv hlubší informace, navíc, když se jedná o docela nestandardní typ vzorkovací stanice. QFD je tedy pojato spíše tak, aby ve výsledných grafech bylo patrné, jak který nabízený typ je schopen splnit aktuální požadavky koncového zákazníka v bodech zadání našeho případu.

Dům kvality obsahuje vstupní informace, resp. požadavky zákazníků obsažené v levé části. Další částí jsou vybrané vlastnosti výrobku. Střecha charakterizuje vzájemné vztahy mezi parametry, do jaké míry a jak se ovlivňují, kladné nebo záporné. Další část tvoří číselná hodnota váhy jednotlivých parametrů v závislosti na funkčnosti. Výsledkem QFD jsou dva grafy. Z těchto grafů je patrné, s jakou jistotou jsou konkrétní typy našeho a konkurenčních výrobků schopny plnit jednotlivé vlastnosti výrobků.

Z obou grafů přitom vyplývá náš vzorkovač, který je primárně určen pro konkrétní zadání. Tento závěr je pochopitelný. Konkurenční výrobky, jak FLSmidt, tak Polisius jsou konstruovány v obecných rovinách vzorkování. Jejich použití bez nutné modifikace, by bylo buď nemožné, nebo značně omezené. Základním parametrem jsou požadavky zákazníka, které v některých bodech pro náš případ značně zaostávají. Viz. Grafy QFD.

14. Výpočty

14.1 Výpočet maximální teploty stěny cyklonu

Tato teplota bude mít vliv při umístění pohonné jednotky. Motor bude umístěn v bezprostřední blízkosti stěny cyklonu a bude tedy třeba uvažovat, zda nebude nutné motor dochlazovat. V první části je proveden výpočet empirickými vztahy a v další pak metodou MKP. [5]

Zadané parametry pro tepelné výpočty:

$$t_1 = 1000^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 22^\circ\text{C}$$

$$d_1 = 0,8\text{m}$$

$$d_2 = 1,1\text{m}$$

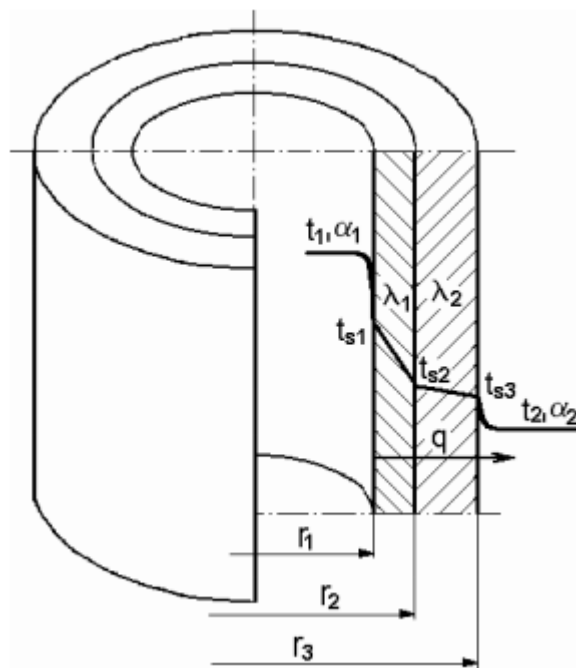
$$d_3 = 1,112\text{m}$$

$$\alpha_1 = 70\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\alpha_2 = 12\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_1 = (0,29 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot t) \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 50,5\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$



Obr. 14.1: Schéma výpočtu

- 1) Střední teplota

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{1000 + 22}{2} = 511^\circ\text{C} \quad (1)$$

- 2) Tepelná vodivost vyzdívky

$$\lambda_1 = (0,29 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot t) \quad (2)$$

$$\lambda_1 = (0,29 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 511)$$

$$\lambda_1 = 0,39\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- 3) Tepelné ztráty 1m trubky

$$q_l = \frac{\pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3}} \quad (3)$$

$$q_l = \frac{\pi \cdot (1000 - 22)}{\frac{1}{70 \cdot 0,8} + \frac{1}{2 \cdot 0,39} \cdot \ln \frac{1,1}{0,8} + \frac{1}{2 \cdot 50,5} \cdot \ln \frac{1,112}{1,1} + \frac{1}{12 \cdot 1,112}}$$

$$q_l = 6127,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

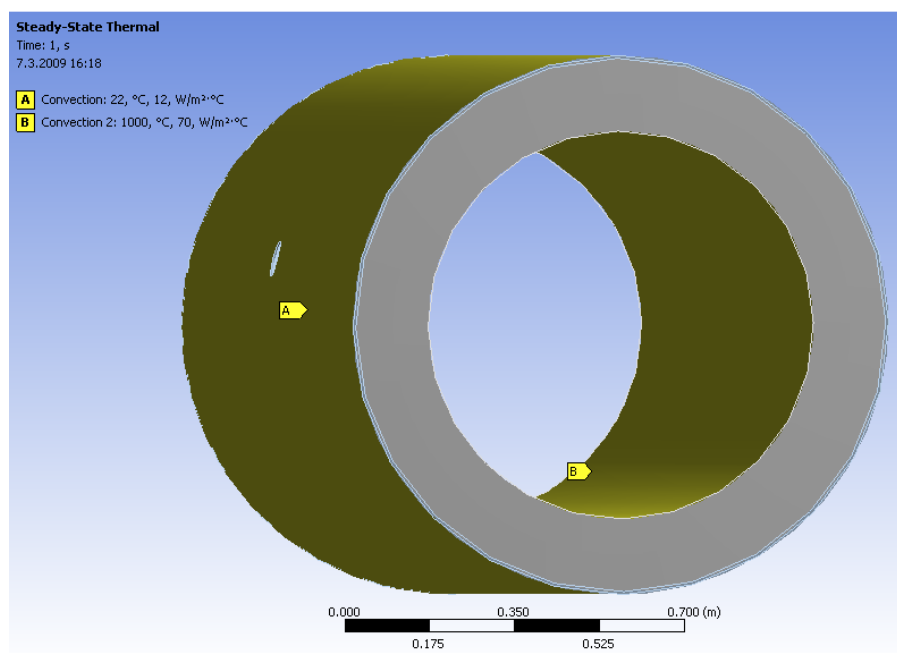
4) Teplota vnějšího povrchu cyklonu

$$t_{s3} = t_2 + \frac{q_l}{\pi} \cdot \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3} \quad (4)$$

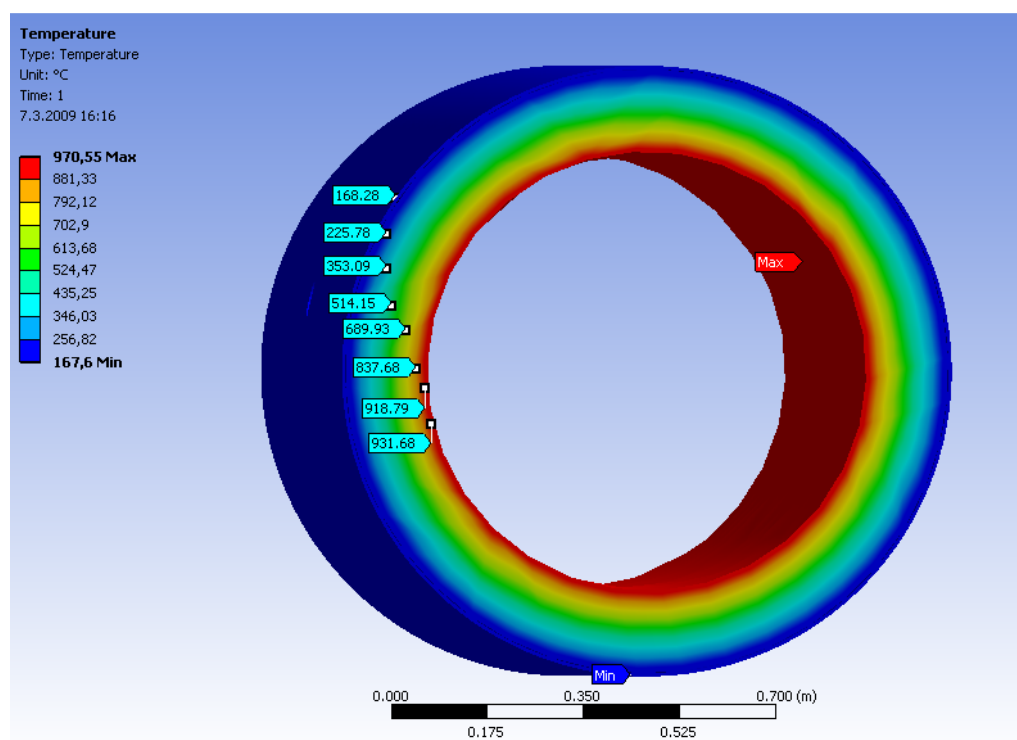
$$t_{s3} = 22 + \frac{6127,4}{3,14} \cdot \frac{1}{12 \cdot 1,112}$$

$$t_{s3} = \underline{\underline{168,2^\circ\text{C}}}$$

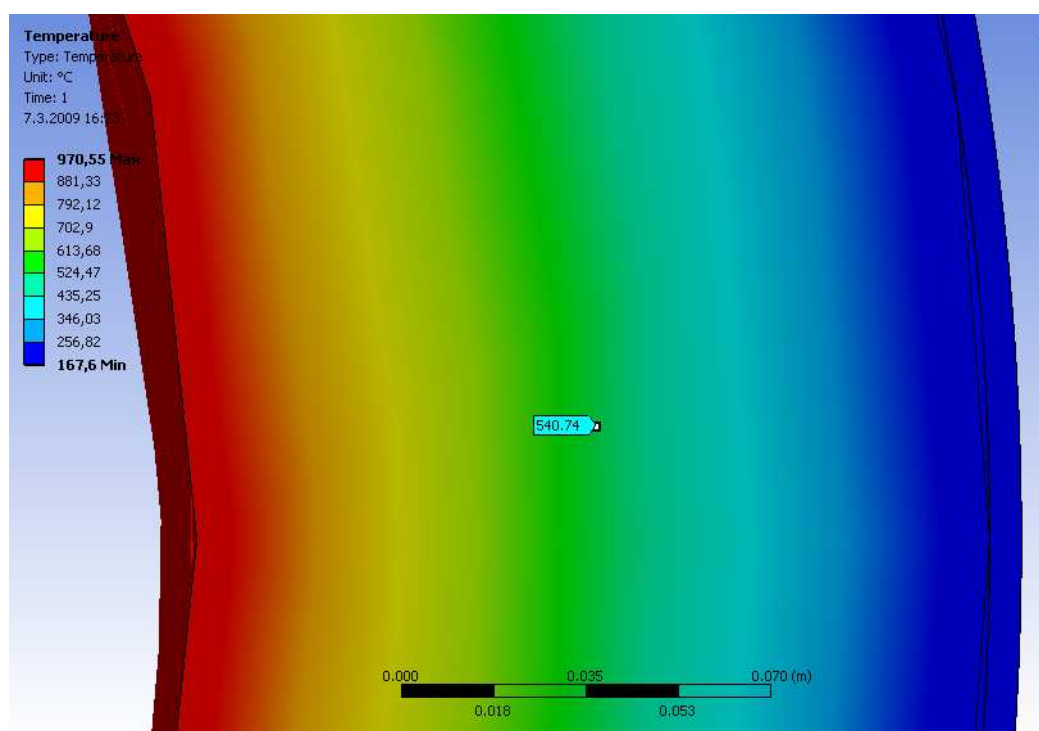
14.2 Výpočet kritické teploty stěny cyklonu MKP



Obr. 14.2: MKP Vstupní hodnoty



Obr. 14.3: MKP výpočet



Obr. 14.4: MKP výpočet, detail

14.3 Shrnutí výpočtu tepla stěny

Cyklon se skládá z šamotové vyzdívky a z ocelového obalu. V obr. 14.4 je zdůrazněna teplota 540 °C, tato teplota je teplota působící na přírubu napojení vzorkovače. Ukončení této příruby je v polovině tloušťky stěny cyklonu. Vzhledem k podtlaku uvnitř cyklonu nedochází k proudění a unikání horkého vzduchu skrz přírubu vzorkovače. Dvojím výpočtem je ověřeno dobré nastavení MKP analýzy, které bývá častým úskalím kvalitního výsledku.

TAB. 14.1: Výsledky

Empirický výpočet	Výpočet MKP Ansys
168,2°C	167,6°C

14.4 Aktuální teploty odběrového zařízení



Obr. 14.5: Teploty odběrové trubky a materiálu těsně po vytažení



Obr. 14.6: Termovizní kamera, zachycení boční příruby cyklonu



Obr. 14.7: Teploty, vzorkovací místo u cyklonu [7]

14.5 Shrnutí tepelných výpočtů

Tepelné výpočty jsou značně náročnou výpočtovou částí. Jsou kladeny vysoké nároky na zadání hodnot vstupních parametrů. Tyto parametry jsem čerpal převážně z odborné literatury. Neznámé parametry jsem modifikoval pomocí podobných materiálových hodnot. Výsledky výpočtů jsem konzultoval s odborníky z praxe.

Výsledky by bylo možné samozřejmě změřit. Ale je obtížné nalézt teploty kritické. Aktuální stav nálepků v cyklonu, rozsah teploty v cyklonu činí až 150 °C. Dále při návrhu bude uvažováno s teplotami opatřenými bezpečností $k = 1,2$.

15. Technologické výpočty

Technologická část je zaměřena na volbu použitých materiálů, délky odběrových zdvihů, použité součásti a komponenty, které jsou zkontrolovány v pevnostní části.

15.1 Výpočet objemu odběrové nádoby

- 1 odběr má dle přání zákazníka obsahovat cca. $m_1 = 0,05kg$ materiálu.
- Změřením je známa sypná hmotnost

$$Q_s = 900kg \cdot m^{-3}$$

Objem 1 cyklu odběru surovinové moučky

$$V_s = \frac{m_1}{Q_s} \tag{5}$$

$$V_s = \frac{0,05}{900}$$

$$V_s = 5,556 \cdot 10^{-5}m^3$$

Pro zřetelnost $V_s = 55,56cm^3$

Objem nádoby je zadán nepřesnou formou (cca), proto volím objem $80cm^3$.

Naplnění nádobky bude také záviset na délce setrvání odběrové misky v cyklonu.

15.2 Hlavní části zařízení

1) Pohon

Hlavním pohonem dle požadavků zákazníka bude elektromotor. Motor bude pohánět přímočarý vratný píst, zasunutí a vysunutí odběrové nádoby.

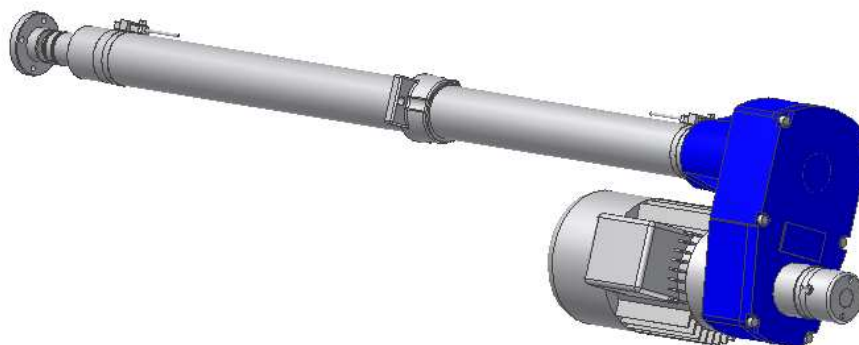
Motor bude muset zejména při prvním odběru přibližně v 1/2 délky zdvihu prorazit vzniklou ztvrdlou krustu v cyklonu. V poptávce cementárny nebyl předem nijak stanoven tlak či síla nutná k proražení v kritickém stavu. V současné době probíhá odběr ruční. K proražení dochází rázem lidské síly. Doplnkovým poptáním bylo zjištěno, že kritická síla nutná k proražení by měla být vyšší než

$$F_{PRO} \geq 2000N$$

Zvolený motor Volím lineární motor italské firmy Servomech. [12]

TAB. 15.1: Parametry motoru

Typ pohonu	označení	UAL 3 – AC 230/400V RL2
Maximální zdvih	[mm]	800
Lineární rychlost	[mm/s]	130
Lineární síla	[N]	2600
Výkon motoru	[kW]	0.55
Max. otáčky	[ot/min]	2800
Koeficient samosvornosti	-	0,46



Obr. 15.1: Motor

2) Návrh šoupátkového uzávěru

Šoupátkový uzávěr bude sloužit k oddělení odběrového prostoru vzorkovací stanice a pracovního prostoru cyklonu. Bude umístěn dále z bezpečnostních důvodů a tepelných ztrát. Do cyklonu jsou z funkčních důvodů zavedena pneumatická děla. Tyto děla v pravidelných intervalech přivádějí do cyklonu tlakový ráz vzduchu. To je jeden z dalších důvodů umístění uzávěru.

Cyklon se v standardní podobě chová jako podtlakový, tzn. k úniku tepla nedochází. Výjimku tvoří situace přivedení tepla tlakovým dělem. Přestože síla, kterou tlakové dělo vyvine je ve velikosti cyklonu zanedbatelná, může dojít k výtlaku určitého množství horkého vzduchu se surovinovou moučkou ven odběrovou trubicí z cyklonu. To je další z důvodů umístění uzávěru.

Pro zařízení bude použit pneumaticky poháněn šoupátkový uzávěr. Tento uzávěr bude vůči odběrovému místu otočen o 180°. Tím bude zamezeno napadání jemné moučky do dosedacích drážek uzávěru v otevřené poloze a zabráněno tak možnému zadření uzávěru. [16]

Typ šoupátkového uzávěru

TAB. 15.2: Parametry šoupátka

Výrobce	Pohon	Typ	Teplotní odol.	Chemická odol.
Orbinox	Pneuválec	XC-DN65	300°C	Vysoká



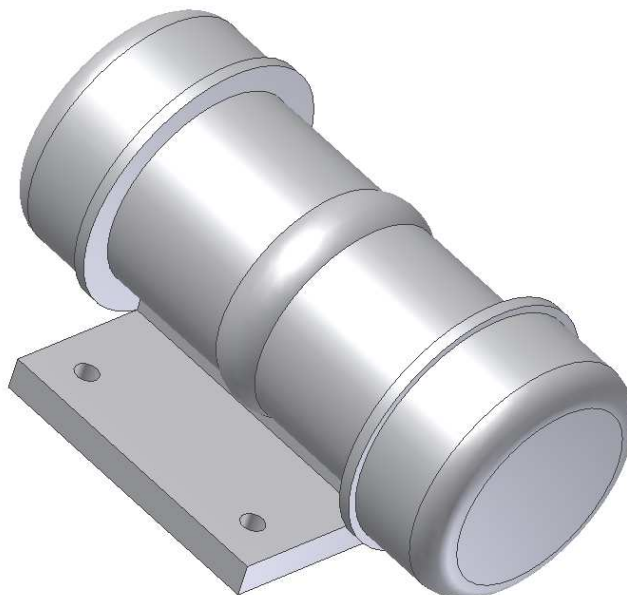
Obr. 15.2: Šoupátkový uzávěr

3) Vibrační motor

Vibrační motor od firmy Italvibras je umístěn poblíž výsypného místa. Jeho funkce je závislá na dokonalejším výsypu do sběrné nádoby. Motor bude spouštěn jen při procesu vytlačování materiálu z odběrového prostoru. [11]

TAB. 15.3: Parametry motoru

Výrobce	Typ	Výkon	Hmotnost	Otáčky
[-]	[-]	[W]	[kg]	[s ⁻¹]
Micro	M3-20	35	1,97	3000






Obr. 15.3: Vibrační motor

4) Vodící a brzdící pístová těsnící šňůra (ucpávková šňůra)

Ucpávková pístová šňůra plní hned několik základních funkcí. Běžně se používá u pístových čerpadel, je tedy odolná jak při radiálních tak při axiálních pohybech. V přiložené tabulce výrobce je patrná její volba. Volba závisela, jak na teplotní odolnosti, tak na vhodnosti použití pro náš případ. [15]

TAB. 15.4: Parametry použití

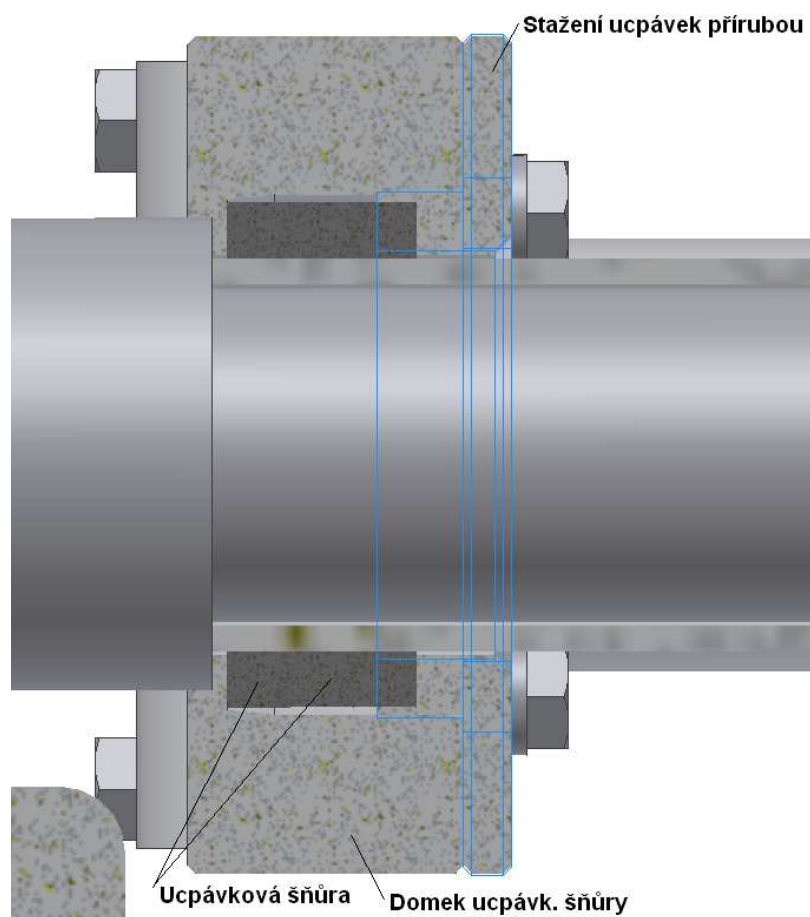
			
Tlak [bar]	40	200	20
Rychlost [m/s]	25	1	2
pH	0 - 14		
Teplota [°C]	-100 +650		

Výrobce ucpávky je firma Hennlich Industrie Technik.

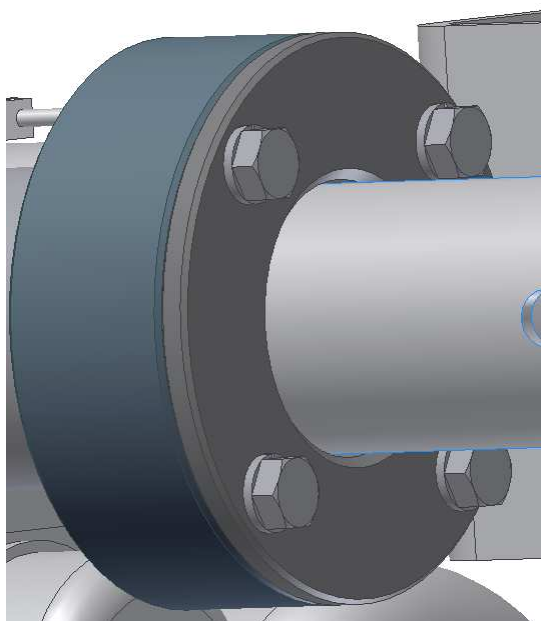
Typ šňůry – ICP 912



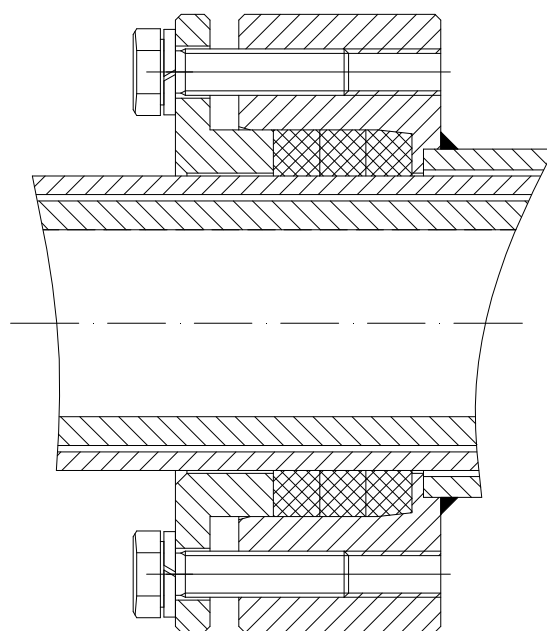
Obr. 15.4: Ucpávková šňůra



Obr. 15.5: Montáž, šňůry na vzorkovací lince



Obr. 15.6: Domek pro uložení šňůry



Obr. 15.7: Řez domkem

5) Návrh materiálu vzorkovací stanice

Zařízení pracuje v oblasti vysokých rozdílů teplot. Vzorkovací materiál se navíc chová negativně k běžným ocelím. Příčinou koroze je přítomnost Ca(OH)_2 . Dalším parametrem je lepidlost. Zařízení bude zvenčí vystavováno povětrnostním vlivům kromě deště (je umístěno v 1. patře výměníkové věže).

TAB. 15.5: Použité materiály [4]

Materiál	Použití u HSM	Tepl.	Rm	Vlastnosti
[ČSN]	[-]	[°C]	[MPa]	[-]
11 373	Svařované funkční části, méně namáhané, vnější uchycení vzorkovače apod.	-	370	Dobře svařitelné, výroba méně namáhaných součástí
11 500	Čepy, táhla, funkční nesvařované části	600	500	Svařitelnost obtížná, na strojní součásti namáhané staticky.
17 153	Průrazný hrot vzorkovače – odběrný prostor pro vzorek	1100	440	Chem. Odolnost, pro zařízení při tepelném zatížení, chemický průmysl
17 242	Funkční odběrové části vzorkovací stanice			Odolné tření, chemická odolnost
17 254	Funkční odběrové části vzorkovací stanice			Odolné tření, chemická odolnost
17 255	Funkční odběrové části vzorkovací stanice	1100	500	Špatná obrobiteľnosť, dobrá svařitelnost, součásti kotlů, tepelný průmysl
Pozink	Šrouby třídy 8.8, podložky matice	-	800	Spojovací materiál
UCAR	Grafoil, těsnící a vodící šňůra	650		Vodící a těsnící části, jak pístové mechanismy, tak i rotační

15.3 Výpočet délky času jednoho odběru

Vstupní parametry

$$v_{1M} = 0,13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$l_{zC} = 0,8 \text{ m}$$

$$t_{tech} = 5 \text{ s}$$

$$t_n = 5 - 8 \text{ s}$$

$$l_V = 0,115 \text{ m}$$

- Čas pohybu z klidové polohy do cyklonu

$$t_{10} = \frac{l_{zC}}{v_{1M}} \quad (6)$$

$$t_{10} = \frac{0,8}{0,13}$$

$$t_{10} = 6,2 \text{ s}$$

- Čas odběru

$$t_n = 5 - 8 \text{ s} \quad (7)$$

- Zpětný chod do klidové polohy

$$t_{10} = t_{1Z} = 6,2 \text{ s} \quad (8)$$

- Doba výsypu

Pozn.: Doba výsypu bude automatizačně řízena z důvodu možného nalepení materiálu a tím upravené délky působení vibračního oklepu.

$$t_{Vmax} = \frac{l_V}{v_{1M}} \quad (9)$$

$$t_{Vmax} = \frac{0,115}{0,13}$$

$$t_{Vmax} = 0,9 \text{ s}$$

- Čas zpětného zasunutí do klidové polohy

$$t_Z = t_{Vmax} \quad (10)$$

$$t_Z = 0,9 \text{ s}$$

- Průměrný celkový čas jednoho cyklu odběru materiálu

$$t_c =$$

$$2 \cdot t_{10} + t_n + t_{vmax} + t_z + t_{tech} \quad (11)$$

$$t_c = 2 \cdot 6,2 + 8 + 0,9 + 0,9 + 5$$

$$t_c = \underline{\underline{27,2s}}$$

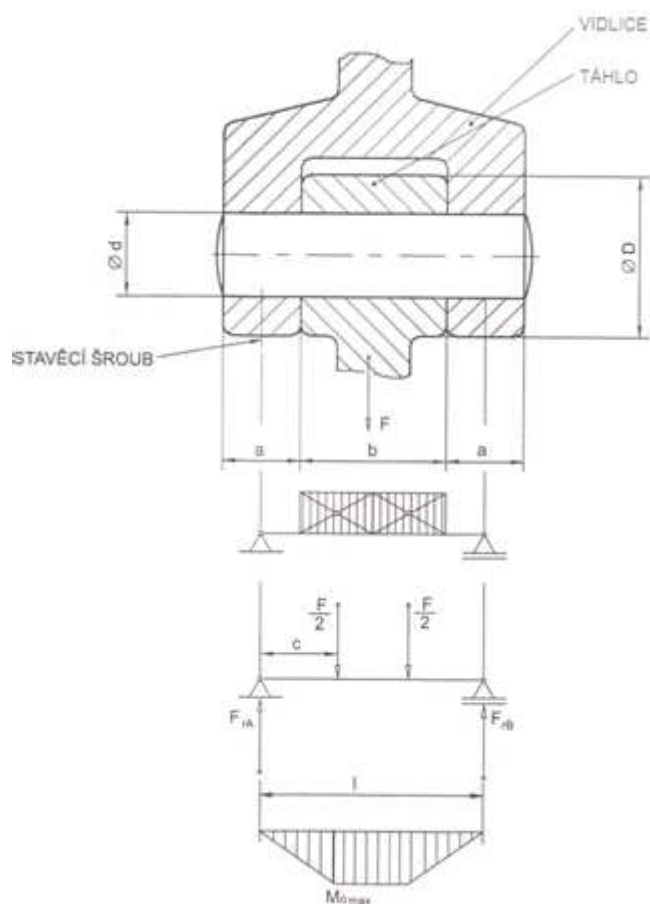
Zadavatel vidí jako ideální dobu jednoho odběru do 60 sekund, což vyhovuje.

16. Pevnostní výpočty

16.1 Výpočet čepu táhla

Kontrola čepu B 14x45x4 [3,4]

Kontrola na smyk



Obr. 16.1: Schéma výpočtu čepu

$$\tau_s = \frac{F}{S_1} \leq \tau_{Ds} \quad (12)$$

Materiál čepu je ocel 11 500.

$$\sigma_{Pt} = 600 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt}}{k} \cdot c_{III} = 0,6 \cdot \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,65 \quad (13)$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 \cdot \frac{0,6 \cdot 500}{2} \cdot 0,65$$

$$\tau_{Ds} = 58,5 \text{ MPa}$$

$$S = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (14)$$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot 14^2}$$

$$\tau_s = \underline{\underline{8,44 \text{ MPa}}}$$

Kontrola na otláčení

$$P_2 = \frac{F}{S_2} \leq P_{D2} \quad (15)$$

$$P_{D2} = \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt}}{k} \cdot c_{II} \quad (16)$$

$$P_{D2} = \frac{0,6 \cdot 500}{k} \cdot 0,85$$

$$P_{D2} = 127,5 \text{ MPa}$$

$$S_2 = 2 \cdot a \cdot d \quad (17)$$

$$P_2 = \frac{F}{2 \cdot a \cdot d} \quad (18)$$

$$P_2 = \frac{2600}{2 \cdot 8 \cdot 14}$$

$$P_2 = \underline{\underline{11,6 \text{ MPa}}}$$

$$P_1 = \frac{F}{S_1} \leq P_{D1} \quad (19)$$

$$P_{D1} = 0,35 \cdot P_{D2} \quad (20)$$

$$P_{D1} = 0,35 \cdot 127,5$$

$$P_{D1} = 44,6 \text{ MPa}$$

$$S_1 = b \cdot d \quad (21)$$

$$P_1 = \frac{F}{b \cdot d} \quad (22)$$

$$P_1 = \frac{2600}{13 \cdot 14}$$

$$P_1 = \underline{\underline{14,3MPa}}$$

Kontrola na ohyb

$$\sigma_O = \frac{M_{Omax}}{W_O} \leq \sigma_{DO} \quad (23)$$

$$\sigma_{DO} = \frac{0,6 \cdot \sigma_{Pt}}{k} \cdot c_{III} \quad (24)$$

$$\sigma_{DO} = \frac{0,6 \cdot 500}{2} \cdot 0,65$$

$$\sigma_{DO} = 97,5MPa$$

$$\sigma_O = \frac{F_{rA} \cdot c}{0,1 \cdot d^3} \quad (25)$$

$$\sigma_O = \frac{\frac{F}{2} \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{b}{4}\right)}{0,1 \cdot d^3} \quad (26)$$

$$\sigma_O = \frac{\frac{2600}{2} \cdot \left(\frac{8}{2} + \frac{13}{4}\right)}{0,1 \cdot 14^3}$$

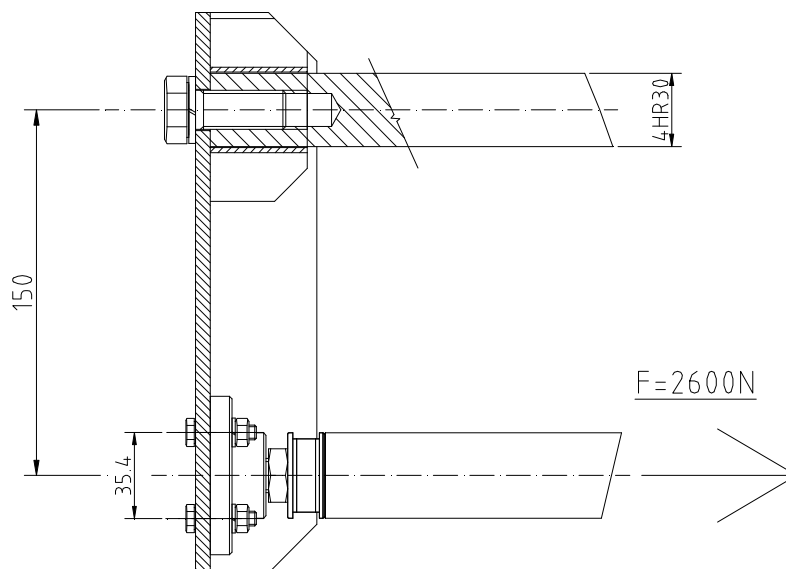
$$\sigma_O = \underline{\underline{34,3MPa}}$$

TAB. 16.1: Souhrn výpočtu čepu

Zatížení	Dovolené	Skutečné	Stav
[-]	[MPa]	[MPa]	[-]
Otlačení P_1	44,6	14,3	Vyhovuje
Otlačení P_2	127,5	11,6	Vyhovuje
Smyk τ_S	70,2	8,44	Vyhovuje
Ohyb σ_O	97,5	34,3	Vyhovuje

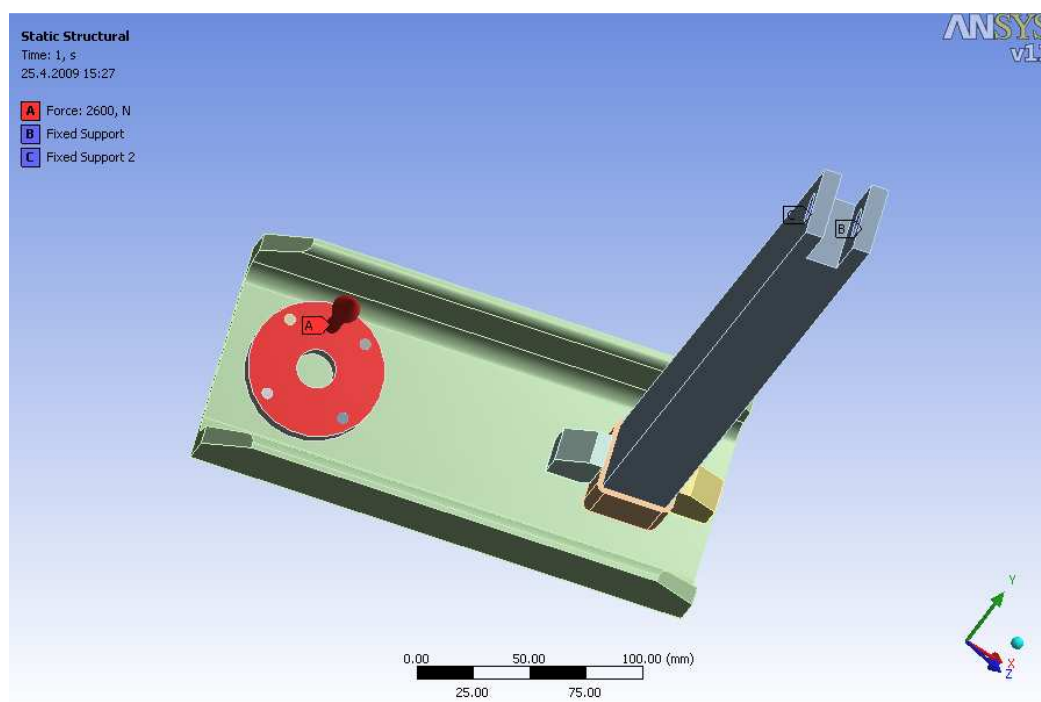
16.2 Výpočet spojovací části vzorkovače

Vzhledem k nutnosti uložení motoru vedle odběrového mechanismu je nutné táhlo lineárního motoru spojit s tímto mechanismem příčným táhlem.

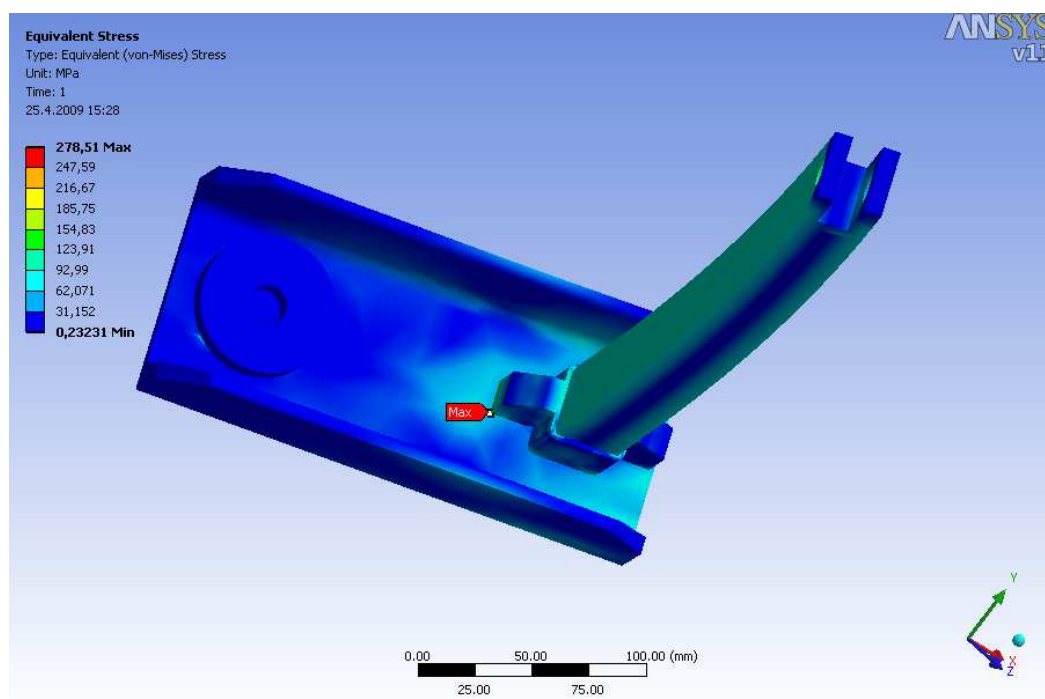


Obr. 16.2: Schéma

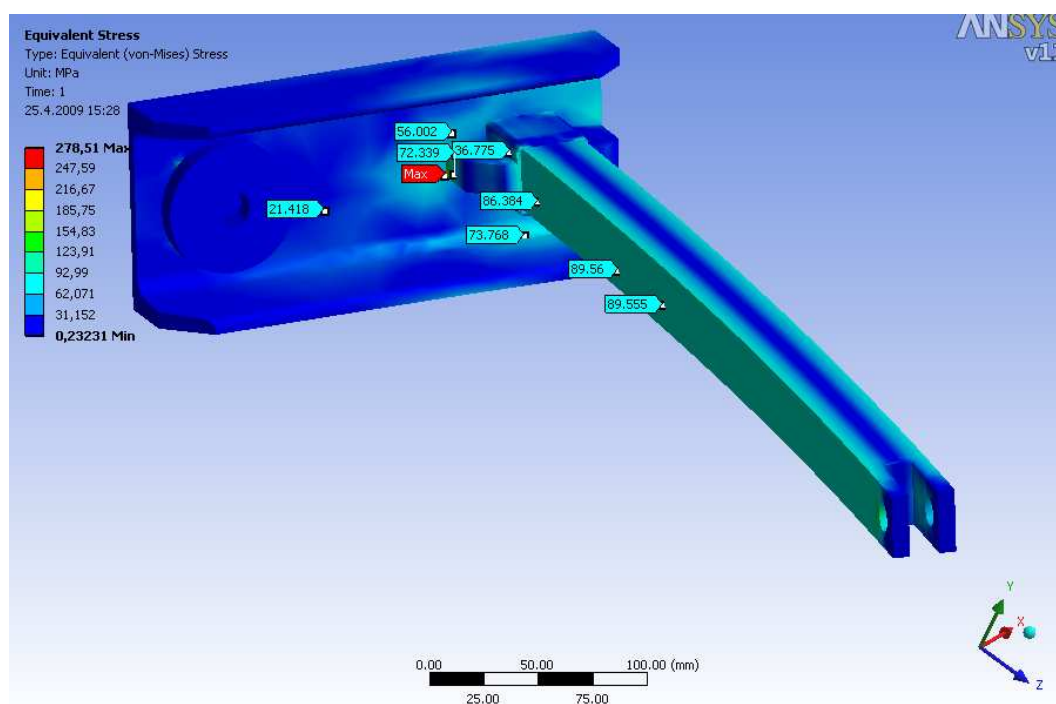
Tato kontrola prokázala nutnou změnu dvou dílců. Vzpěry, které jsou patrné z následujícího obrázku měly původní tloušťku 6 mm. Avšak po pevnostní kontrole se tlak při kritickém napětí posuvu odběru při sečtení složek napětí pomocí MKP blížily hodnotě materiálu meze kluzu. Proto jejich tloušťka je navýšena na 15 mm. Kritická mez (přetížení z důvodu nečekaného procesu) bude navíc kontrolována chráničem proti přetížení motoru, který je běžně používán u každého automatizovaného řídicího panelu.



Obr. 16.3: Zatížení MKP



Obr. 16.4: Výpočet MKP



Obr. 16.5: Napětí v libovolných místech při kritickém zatížení

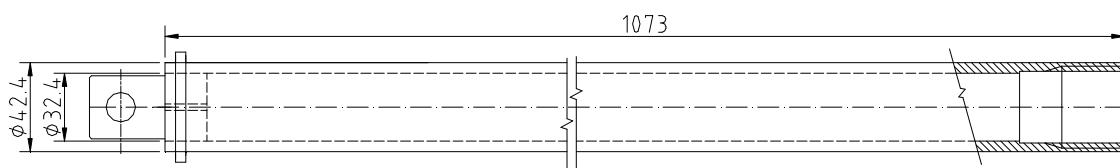
Výpočet je proveden pomocí MKP ve fázi strojního celku bez šroubů. Ty jsou nahrazeny bez závitovými tyčemi nejmenšího průměru metrického závitu.

Výpočtem je určen maximální tlak metodou HMM. Tento tlak je porovnán s mezí kluzu materiálu.

TAB. 16.2: Výsledek výpočtu

Materiál	Mez kluzu	Vypočtená mez kluzu
Číslo materiálu	Re [MPa]	Rem [MPa]
11 523	380	278,5

16.3 Vzpěrná pevnost táhla [6]



Obr. 16.6: Schéma výpočtu čepu

Poloměr setrvačnosti plochy průřezu trubky

$$i = \sqrt{\frac{J}{S_V}} \quad (27)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot (D_V^4 - d_V^4)}{64}}{\frac{\pi \cdot (D_V^2 - d_V^2)}{4}}} \quad (28)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot (0,0424^4 - 0,0324^4)}{64}}{\frac{\pi \cdot (0,0424^2 - 0,0324^2)}{4}}}$$

$$i = 0,0133m$$

Mezní štíhlost

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{\beta} \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}} \quad (29)$$

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{\beta} \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_u}}$$

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{1} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{250}}$$

$$\lambda_m = 91,1 [-]$$

Pozn.: Součinitel β je volen v rozmezí (0,25 – 4) podle druhu uložení trubky. Pro náš případ je roven $\beta=1$. Hodnota σ_u je mez úměrnosti pro materiál 17 255, činí 250 MPa.

Štíhlost trubky

$$\lambda = \frac{l_{red}}{i} \quad (30)$$

$$l_{red} = l \quad (31)$$

$$l_{red} = 1,073m$$

$$\lambda = \frac{1,073}{0,0133} \quad (32)$$

$$\lambda = 80,67 [-]$$

$$\lambda \geq 40, \lambda_m \geq \lambda \quad (33)$$

Provádí se kontrola podle Tetmajera

Pro oceli slitinové platí:

$$\sigma_{KR} = 589 - 3,82 \cdot \lambda \quad (34)$$

$$\sigma_{KR} = 589 - 3,82 \cdot 80,67$$

$$\sigma_{KR} = 280,8MPa$$

Napětí v tahu

$$\sigma_t = \frac{F}{S_V} \quad (35)$$

$$\sigma_t = \frac{F}{\frac{\pi \cdot (D_V^2 - d_V^2)}{4}}$$

$$\sigma_t = \frac{2600}{\frac{\pi \cdot (0,0424^2 - 0,0324^2)}{4}}$$

$$\sigma_t = 4,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t \leq \sigma_{KR} \quad (36)$$

$$k = \frac{\sigma_{KR}}{\sigma_t}$$

$$k = \frac{280,8}{4,5} \quad (37)$$

$$\underline{\underline{k = 62,4 \text{ [-]}}}$$
 Výpočet vyhovuje s vysokou bezpečností.

17. Technický popis zařízení

Zařízení odběru surovinové moučky v cementárně se skládá z části pohonné, části odběrové a z části uchycení vzorkovače. Dalšími dvě části, kterými bude zařízení vybaveno, jsou část řídící (ovládací panel) a část pro homogenizaci vzorku ve společné nádobě, tyto však po dohodě nebyly součástí zadání diplomové práce a budou zpracovány dodatečně. Stejně tak bezpečnostní prvky a celkový obal vzorkovací stanice bude realizován až po zkušebním provozu v Lafarge Cement a.s. Čížkovice.

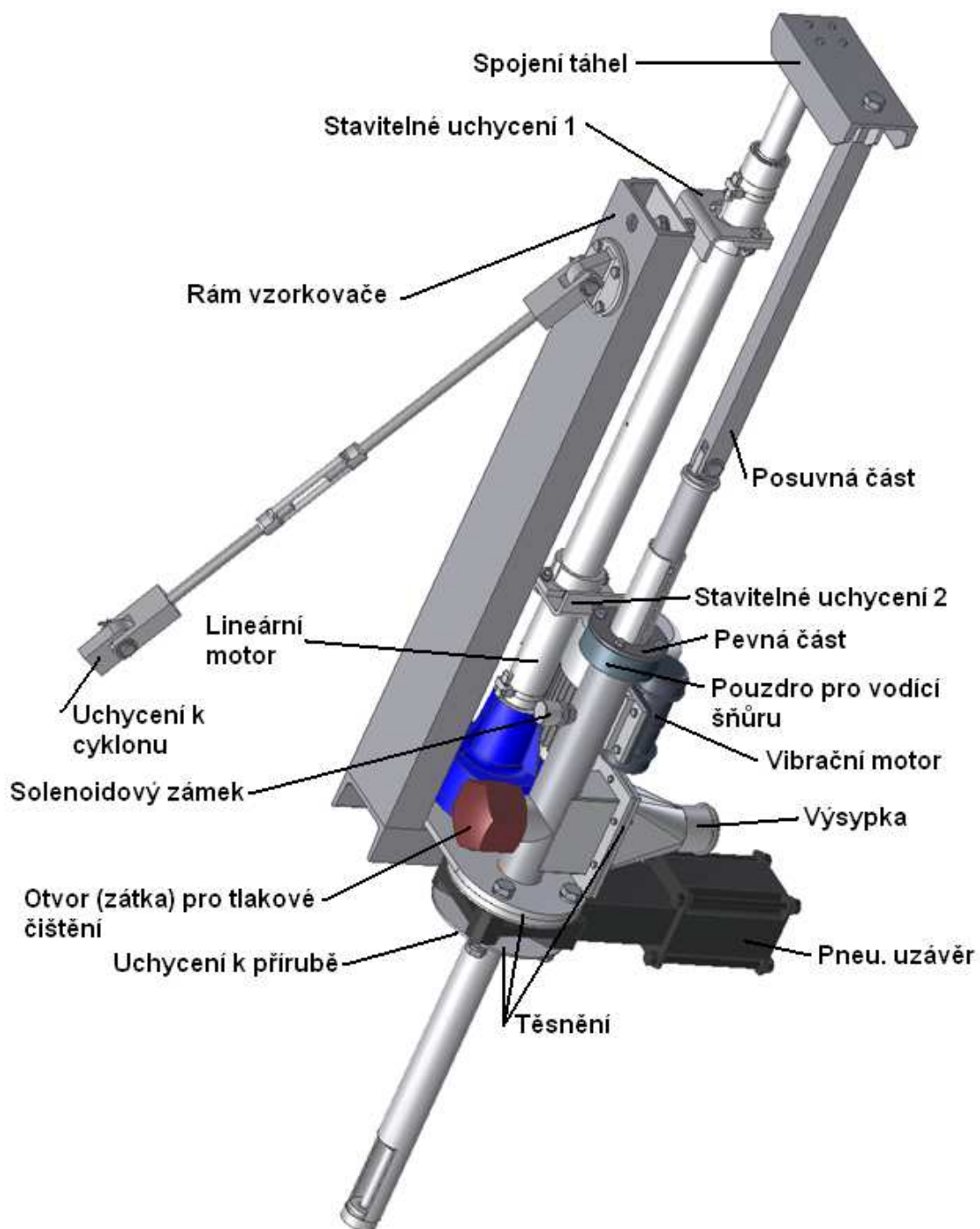
Pohonná část se skládá z lineárního motoru o výkonu 0,55kW. Dále stanice obsahuje vibrační motor s výkonem 35W, tento motor je použit z důvodu omezení nálepků při výsypu do sběrné nádoby s homogenizátorem. Bohužel lepivost materiálu je velmi různá, je nemožné ji nějakým způsobem popsat, bude tento motor spouštěn při výsypu z odběrné misky. Další jednotkou je pneumatický motor ovládající šoupátko. Při poptávání tohoto komponentu byl požadován elektrický pohon, ale bohužel cena, která narostla o stovky procent a velmi pomalý chod otvírání a zavírání zabránila použití elektromotoru.

Odběrovou část tvoří tři trubky. Dvě jsou uloženy na pístových ucpávkových šňůrách, které navíc zajišťují brzdění střední trubky z důvodů základní funkčnosti odběru. Materiál těchto komponent je zvolen v závislosti na jak vypočtené teoretické teplotě, tak na teplotě aktuální.

Uchycení odběrového zařízení je provedeno pouze k cyklonu. Není možné použít jiný typ uchycení, například k podlaze, protože v cyklonu v rámci jeho délky a teploty dochází až k 50 milimetrovým dilatacím. Uchycení je provedeno pomocí napínacích šroubů.



Obr. 17.1: 3D vzorkovací stanice



Obr. 17.2: 3D vzorkovací stanice (bez cyklonu)

18. Závěr

Cílem diplomové práce bylo konstrukční řešení podoby vzorkovací stanice surovinové moučky v cementárně. Výstupem je ucelený souhrn strojních částí, který v maximální možné míře plní funkci zařízení na základě vstupních parametrů.

Výrobně obtížné části jsou zvoleny tak, aby průsečík funkčnosti, výrobní náročnosti a ekonomičnosti byl co pokud možno v nejpříjemnějších mezích pro výrobce i uživatele. Použité materiály jsou zvoleny tak, aby dokonale splňovaly účel, za kterým, jsou v dané části stanice umístěny. Pomocí přídavných zařízení, jsou maximálně možně eliminovány případné poruchy, které by se mohly v provozu vyskytnout. Prostředí, v kterém vzorkovací stanice pracuje, ať už vnější v okolním prostředí cyklonové věže, tak i uvnitř cyklonu o velmi vysokých teplotách, činí odběr vzorku jak nebezpečným, tak obtížným. Různorodá lepivost materiálu při těchto teplotách představuje faktor, jenž v současné době nemá matematicko – fyzikální podklad. Proto, je pro tento jev možné jen maximálně omezit přídavnými procesy. Vzorkovací stanice obsahuje pro tento účel např. speciální způsob výsypu, vibrační oklep a v pravidelných intervalech ofuk vnitřních prostor tlakovým vzduchem.

Přílohy

3-340197-2-1 Hlavní sestava – Vzorkovací stanice

3-340197-2-2 Vzorkovací stanice – fáze odběru

3-340203-1-1 Píst

3-340204-1-1 Držák pístu

3-340208-1-1 Spojení táhel

3-340198-1-1 Domek vzorkovače

19. Seznam použitých zdrojů informací

- [1] ADÁMEK V., BARTL M., GALE F., HAJMAN J., MAREK Č., MIČAN M., NOVÁK J., MICHALÍK J., PLOT B., ROSA J.: *Vápno/cement azbestocement. Výzkumný ústav maltovin a osinkocementu*, Praha, 1977, ISBN 06 – 127 – 77.
- [2] MAKARIUS M., BOLEK M., SIOSTRZONEK F., HELEKAL J.: *Mechanizace a automatizace vzorkování sypkých hmot a suspenzí*, Praha, 1971, ISBN 80 – 50.
- [3] ZELENÝ J., *Stavba strojů – strojní součásti*, Praha, 2000, ISBN 80 – 7226 - 311- 0.
- [4] LEINVEBER J., ŘASA J., VÁVRA P., *Strojnické tabulky*, Praha 1999, ISBN 80 – 7183 – 164 - 6
- [5] KADLEC Z.: *Termomechanika (přednášky)*, VŠB – TU Ostrava, 2001.
- [6] PAVLOK, B.: *Hydraulické prvky a systémy Díl 1. Kapaliny v hydraulických mechanismech, Hydrostatické převodníky*, VŠB – TU Ostrava 2005, ISBN 80 - 2488 -0857 - 9
- [7] Lafarge cement a.s., firemní materiály
- [8] ČSN EN 196 – 7: *Metody zkoušení cementu – postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu*, CEN, 1993
- [9] ČSN EN ISO 14122 – 3: *Bezpečnost strojních zařízení*, Český normalizační institut, 2002
- [10] www.dsd-dostal.cz
- [11] www.italvibras.it
- [12] www.servomech.com
- [13] www.ferona.cz
- [14] www.vatrans.cz
- [15] www.hennlich.cz
- [16] www.orbinox.com
- [17] www.vsb.cz
- [18] www.polysius.com
- [19] www.flsmidth.com

Poděkování

Mé poděkování patří především vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Nečasovi Ph.D., dále bych chtěl poděkovat řediteli firmy DSD – Dostál a.s. Panu Ing. Martinu Macháčkovi, konstruktérům Ing. Martinu Chmelařovi, Ing. Michalu Skřépkovi Ph.D. a ostatním zaměstnancům za pomoc při řešení problémů mé diplomové práce a za cenné rady, které mi poskytnuli.